17. 1891. СЕНТЯБРЬ.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ЖУРНАЛЪ ИЗДАВАЕМЫЙ VI ОТДѢЛОМЪ

ИМПЕРАТОРСКАГО РУССКАГО ТЕХНИЧЕСКАГО ОБЩЕСТВА.

О самоиндукціи и ея дѣйствіяхъ *).

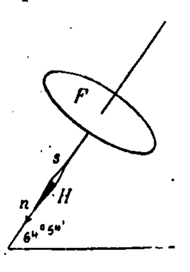
Профессора Пулуя.

...общено въ электротехническомъ обществѣ въ Прагѣ 21 марта и 18 апрѣля 1891 года).

...ногочисленныя примѣненія перемѣнныхъ токовъ въ ...ихъ областяхъ электротехники показали, какую важ... роль играетъ самоиндукція, то свойство электриче... проводниковъ, въ силу котораго послѣдніе, при про... ніи по нимъ тока, поглощаютъ часть затраченной ...ической энергіи въ формѣ магнитнаго поля. Безъ ... знанія законовъ самоиндукціи никому не будутъ ... понятны явленія въ машинахъ съ перемѣннымъ ..., трансформаторахъ, индукціонныхъ катушкахъ и ...ныхъ измѣрительныхъ аппаратахъ для перемѣннаго ... Въ виду этого было бы желательно сдѣлать законы ...индукціи доступными болѣе широкому кругу специа... ..., что и вызвало подробное воспроизведеніе настоя... сообщенія на этихъ страницахъ.

...и въ проводникѣ дѣйствуетъ постоянная электро...ительная сила и наступило состояніе стаціонарнаго по... электричества, то, какъ извѣстно, можно, по закону ... вычислить силу тока изъ электровозбудительной силы ...отивленія проводника. Этотъ законъ перестаетъ ... имѣть силу въ томъ случаѣ, когда требуется опре... мгновенную силу тока i во время перемѣннаго со... потока электричества, а именно въ продолженіи ... промежутка времени, когда сила тока растетъ отъ ... до наибольшаго значенія J, опредѣляемаго закономъ ... Мгновенная сила тока i зависитъ не только отъ ...вленія проводника, но также отъ его коэффиціента ...дукціи и отъ времени.

...о же такое этотъ коэффиціентъ самоиндукціи? Что... ...этотъ вопросъ отвѣтить общепонятнымъ образомъ, ... предпослать нѣсколько словъ о такъ называемыхъ ...выхъ линіяхъ», которыми мы воспользуемся для опре... ...я коэффиціента самоиндукціи. Словами «силовая ли... ...означалось первоначально только направленіе, по ... дѣйствуетъ магнитная сила на магнитный полюсъ, ... положительнымъ направленіемъ считалось то, ...ому долженъ былъ бы двигаться свободный сѣвер... ...люсъ. Такимъ образомъ силовая линія была перво... ...о только геометрическое представленіе и въ такомъ ... нерѣдко употребляется и теперь. Геометрическія ... линіи опредѣляютъ «направленіе магнитнаго поля». ...а «силовая линія» стали въ современной электро... ... кромѣ того еще и физико-математическимъ поня... ... выраженіе «число силовыхъ линій» означаетъ ве... ..., способную быть измѣренной въ абсолютныхъ еди... ..., а именно произведеніе изъ площади F на напряженность магнитнаго поля H, такъ что число силовыхъ линій будетъ $N = FH$, въ томъ предположеніи, что площадь перпендикулярна къ направленію магнитнаго поля. Въ Прагѣ, напримѣръ, полная напряженность силы земнаго магнитизма $H = 0{,}463$ *) и положительное направленіе силовыхъ линій проходитъ въ аудиторіи отъ потолка къ полу въ направленіи стрѣлки наклоненія, образующей съ горизонтомъ уголъ въ 64°54′. Если помѣстить, какъ указано на фиг. 1 плоское проволочное кольцо, огибающую площадь въ 1.000 квадр. сантим. такъ, чтобы плоскость его была перпендикулярна къ стрѣлкѣ наклоненія, то число силовыхъ линій, проходящихъ черезъ отверстіе петли, будетъ



Фиг. 1.

$$N = 1.000 \times 0{,}463 = 463.$$

Эти 463 силовыхъ линій можно было бы равномѣрно распредѣлить по всей площади, огибаемой проволочной петлей, и въ столькихъ же по числу точкахъ этой площади провести линіи, параллельныя стрѣлкѣ наклоненія. При наклонномъ положеніи плоскости петли относительно направленія такихъ силовыхъ линій число послѣднихъ, проходящихъ сквозь ея отверстіе, будетъ иное, и притомъ меньшее. Если петля расположена плоскостью своею параллельно силовымъ линіямъ, то сквозь отверстіе не пройдетъ ни одной силовой линіи. Поэтому число силовыхъ линій можно измѣнять вращеніемъ петли на оси, наклоненной къ направленію магнитнаго поля.

Каждое измѣненіе числа силовыхъ линій сопровождается возникновеніемъ мгновенной электровозбудительной силы, величина которой стоитъ въ зависимости къ числу силовыхъ линій, при чемъ зависимость эта совершенно аналогична той, какая существуетъ между механической силой (импульсомъ силы) и количествомъ движенія свободнаго тяжелаго тѣла. Если послѣднее обладаетъ массой M и скоростью v, то количество движенія B выразится произведеніемъ изъ массы на скорость, въ предположеніи, что каждая величина измѣрена въ абсолютныхъ единицахъ. Измѣненіе этого количества движенія $B = Mv$ въ единицу времени представляетъ мѣру механической силы, дѣйствующей въ томъ же направленіи, въ какомъ дѣйствуетъ и скорость v.

$$F = \frac{dB}{dt} = \frac{d\,(Mv)}{dt}.$$

Совершенно аналогично съ этимъ, индуктированная въ проводникѣ электровозбудительная сила, зависитъ отъ измѣненія числа силовыхъ линій въ единицу времени

$$e = -\frac{dN}{dt}.$$

*) ... Хотя редакція избѣгаетъ помѣщать статьи, требую... ...для пониманія своего знанія высшей математики, ... въ данномъ случаѣ признано необходимымъ сдѣлать ...ніе въ виду практической важности изложен... въ помѣщаемой статьѣ вопросовъ и въ виду того, ...ому ея, извѣстному профессору Пулую удалось въ ... чрезвычайной ясностью и удопонятностью изло... ...вольно сложныя явленія, вызываемыя самоиндук... въ проводникахъ съ постоянными и перемѣнными ... *Прим. Редакціи.*

*) По измѣреніямъ 1889 года.

Число силовыхъ линій, въ каждое мгновеніе находящихся въ проволочной петлѣ, стоитъ къ электровозбудительной силѣ въ томъ же отношеніи, въ какомъ моментъ движенія къ механической силѣ, дѣйствующей на тѣло. Поэтому Максвелль назвалъ число силовыхъ линій, проходящихъ черезъ отверстіе изгиба проводника, *электромагнитнымъ моментомъ.*

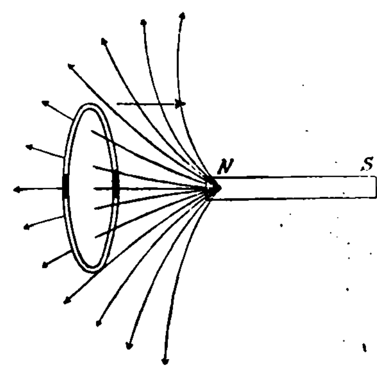
Отрицательный знакъ передъ производною $-\frac{dN}{dt}$ обозначаетъ, что наведенная электровозбудительная сила дѣйствуетъ или по направленію движенія часовыхъ стрѣлокъ, или въ обратномъ направленіи, смотря по тому, увеличивается ли или уменьшается число силовыхъ линій для наблюдателя, смотрящаго на отверстіе петли по положительному направленію силовыхъ линій. Электровозбудительная сила измѣряется въ абсолютныхъ единицахъ и по раздѣленіи на 10^8 даетъ число вольтъ

$$e = -\frac{1}{10^8}\,\frac{dN}{dt} \text{ вольтъ.}$$

Если, напримѣръ, изъ отверстія петли исчезаетъ въ секунду 100 милліоновъ линій силъ, то въ проводникѣ возникаетъ электровозбудительная сила, средняя величина которой

$$e = \frac{10^8}{10^8} = 1v. = \text{одинъ вольтъ.}$$

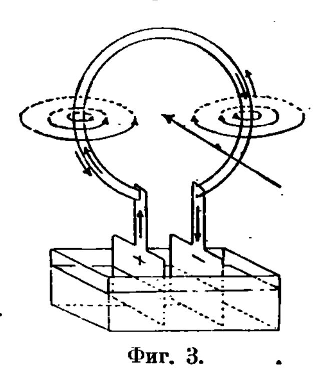
На фиг. 2 представлено, какъ, приближая проволочную



Фиг. 2.

петлю къ сѣверному полюсу магнита, изъ котораго расходятся силовыя линіи, можно увеличить число силовыхъ линій въ отверстіи и тѣмъ самымъ возбудить электровозбудительную силу, дѣйствующую обратно направленію движенія часовыхъ стрѣлокъ, если смотрѣть отъ N на приближающую петлю и вызывающую мгновенный токъ, сила котораго зависитъ отъ сопротивленія проводника.

Разсмотримъ потокъ электричества въ простой проволочной петлѣ, подверженной дѣйствію внѣшней *постоянной* электровозбудительной силы. Въ моментъ, когда электровозбудительная сила начинаетъ дѣйствовать, токъ растетъ и силовыя линіи распространяются кольцеобразно вокругъ проводника; ихъ число будетъ расти постоянно до того момента, пока не наступитъ стаціонарнаго состоянія въ потокѣ электричества. Въ теченіи *перемѣннаго* состоянія наводится самимъ токомъ электровозбудительная сила, которая



Фиг. 3.

численно равна приращенію силовыхъ линій въ един[...] времени и, какъ это явствуетъ изъ фиг. 3, направ[...] въ сторону, противоположную внѣшней электровозбудител[ь]ной силы. Ее потому называютъ «противодѣйствую[щей] электровозбудительной силой самоиндукціи». Величину [...] электровозбудительной силы мы найдемъ помощью [сл]ѣдующихъ соображеній. Допустимъ, что петля состоитъ [изъ] немагнитнаго матеріала и окружена немагнитною сре[дой] или средою съ постоянною магнитною проницаемостью. Число силовыхъ линій N, образуемыхъ въ извѣстный моментъ токомъ въ петлѣ, пропорціонально силѣ тока [...] получимъ поэтому

$$N = Li,$$

гдѣ L есть постоянный множитель, зависящій отъ вида [и ве]личины петли и называемый *коэффиціентомъ самоинду[кціи].* Li представляетъ мѣру электромагнитнаго момента [...] Изъ предыдущей формулы находимъ для коэффиціента са[мо]моиндукціи выраженіе

$$L = \frac{N}{i};$$

его очевидно можно опредѣлить, какъ число силовыхъ [ли]ній, наводимыхъ токомъ, равнымъ единицѣ, въ провод[никѣ] изъ немагнитнаго матеріала въ томъ предположеніи, [что] проводникъ окруженъ немагнитною средою или средою [съ] постоянной магнитной проницаемостью. Въ этомъ случаѣ [...] постоянно; но оно становится зависимымъ отъ i, [если] вблизи проводника находятся желѣзныя массы.

Изъ электромагнитнаго момента мы находимъ прот[иво]дѣйствующую силу самоиндукціи

$$e = L\frac{di}{dt}.$$

Эта формула можетъ намъ служить еще и для [...] опредѣленія коэффиціента самоиндукціи. А именно, мы [по]лучаемъ

$$L = \frac{e}{\frac{di}{dt}},$$

почему коэффиціентъ самоиндукціи можетъ быть разсм[атри]ваемъ, какъ электровозбудительная сила, возбуждаемая [...] въ теченіи времени $dt=1$ измѣненіе тока $di=1$. [...] опредѣленіе годится только въ томъ случаѣ, если L [посто]янно. Предшествовавшее опредѣленіе

$$L = \frac{N}{i}$$

обладаетъ большею общностью и годится также для [пере]мѣнной самоиндукціи.

Мы можемъ теперь спросить, какая работа про[изво]дится внѣшней электровозбудительною силою, когда [по]слѣдняя, вопреки противодѣйствующей силѣ самоинд[укціи] увеличиваетъ силу тока отъ нуля до J. Эта работа [ана]гична механической работѣ, совершаемой механи[ческой] силой, когда послѣдняя преодолѣваетъ сопротивле[ніе на] извѣстномъ пути.

Когда токъ i протекаетъ въ продолженіи очень [корот]каго времени dt при электровозбудительной силѣ, [ко]торая въ данный моментъ равна e, то затрачивается [элек]трическая работа

$$dA = eidt = Lidi.$$

Интегрируя, мы получаемъ всю электрическую р[аботу], которая затрачивается противъ самоиндукціи прово[дника] въ то время, пока токъ ростетъ отъ нуля до наибол[ьшаго] своего значенія J.

$$A = \int_0^J Lidi = \frac{1}{2}\, L\, J^2$$

Произведенная работа численно равна половинѣ [квад]рата наибольшой силы тока, помноженной на посто[янный] коэффиціентъ самоиндукціи.

На счетъ этой электрической работы произошло м[агнит]ное поле вокругъ проводника и составляетъ ея эквив[алентъ]. Магнитное поле представляетъ поэтому энергію, [...] мую въ соотвѣтствующихъ единицахъ, положимъ, въ [...]

ограммстрахъ на кубическій сантиметръ магнит-...ля. При исчезаніи магнитнаго поля электромагнит-...энергія можетъ быть опять получена въ видѣ электри-...ой энергіи.

...шивается теперь, какое измѣреніе имѣетъ коэффи-...ъ самоиндукціи. Для отвѣта на этотъ вопросъ намъ ...тъ послужить выраженіе, полученное для электриче-...й энергіи самоиндукціи. Величина энергіи или работы ...ія мѣрится произведеніемъ: *сила* $\times$ *путь*, при чемъ ...лагается, что сила преодолѣваетъ на извѣстномъ ...извѣстное сопротивленіе. Но квадратъ силы тока ...ставляетъ величину того же измѣренія, какъ и меха-...ая сила:

$$dim\left[i^2\right]=\left[g^{\frac{1}{2}}c^{\frac{1}{2}}s^{-1}\right]^2=g\,c\,s^{-2}.$$

...къ какъ, далѣе, численная величина электрической энер-...самоиндукціи состоитъ изъ двухъ множителей, изъ коихъ ...и есть квадратъ силы тока и поэтому имѣетъ то же ...реніе, что и сила, то другой множитель, коэффиціентъ ...индукціи, долженъ имѣть измѣреніе пути или, иначе, ...нъ быть выраженъ длиною. Коэффиціентъ самоин-...ціи можетъ быть измѣренъ въ сантиметрахъ. Какъ ...тическая единица самоиндукціи употребляется земной ...дрантъ, равный 10^9 сантиметрамъ. Было предложено ...вать эту единицу *секомомъ*.

1 секомъ$=10^9$ сантиметровъ.

...висимость между внѣшней электровозбудительной силой и силой тока въ проводникѣ съ самоиндукціей.

Мы теперь займемся изслѣдованіемъ, какъ велика сила ...і въ проводникѣ съ самоиндукціей L, когда послѣдній ...рженъ дѣйствію внѣшней постоянной электровозбуди-...ной силы E, состоитъ изъ немагнитнаго матеріала, ...зуетъ спираль въ нѣсколько оборотовъ и не заклю-...тъ желѣза.

Каждая цѣпь, въ которой дѣйствуетъ внѣшняя электро-...дительная сила, обладаетъ двумя свойствами, обусло-...вающими силу тока. Эти свойства—*сопротивленіе* про-...ника и его *самоиндукція*. Сопротивленіе проводника ...то его свойство, въ силу котораго прохожденіе по немъ ...сопровождается необратимымъ превращеніемъ электри-...ой энергіи въ теплоту. Количество теплоты, развивае-...въ одну секунду въ проводникѣ съ сопротивленіемъ ...комъ J, выражается

$W=0{,}24RJ^2$ граммо-калорій.

Самоиндукція цѣпи есть свойство, въ силу котораго про-...еніе по ней электрическаго тока сопровождается пре-...щеніемъ электрической энергіи въ энергію магнитнаго ...я вокругъ проводника.

Такимъ образомъ, если по проводнику проходитъ ...трическая энергія, и если предположимъ, что въ цѣпи ...производится ни химической, ни механической ра-...ы, то одна часть пошедшей въ дѣло энергіи превра-...ется въ теплоту, и этотъ процессъ необратимъ. Другая ...сть энергіи превращается въ магнитное поле вокругъ ...водника, которое существуетъ до тѣхъ поръ, пока дѣй-...тъ внѣшняя электровозбудительная сила. Эта часть ...требленной энергіи можетъ, однако, быть опять получена ...идѣ электрической энергіи, какъ только внѣшняя элек-...возбудительная сила прекращаетъ свое дѣйствіе. По-...му, если E представляетъ внѣшнюю электровозбудитель-...ю силу, производящую въ извѣстный моментъ силу тока i, ...мы въ состояніи разложить E на двѣ части e_0 и e. ...рвая часть e_0 преодолѣваетъ сопротивленіе тренія въ ...водникѣ, которое можно назвать «омовымъ» сопротивле-...мъ и которое можно по закону Ома измѣрить и опре-...лить выраженіемъ $R=\frac{e_0}{i}$. Часть $e_0=Ri$ иногда назы-...ется истинной электровозбудительною силою. Другая ...ть внѣшней электровозбудительной силы преодолѣ-...тъ противодѣйствующую электровозбудительную силу ...ціи и вызываетъ измѣненіе силы тока i на di въ ...ніи времени dt. Поэтому

$$e=L\,\frac{di}{dt},$$

въ виду чего основное уравненіе приметъ видъ

$$E=Ri+L\,\frac{di}{dt}\;\ldots\ldots(1)$$

Внѣшняя электровозбудительная сила равна, такимъ образомъ, суммѣ дѣйствительной электродвижущей силы и противодѣйствующей силы самоиндукціи проводника.

Это основное уравненіе, впервые установленное въ 1847 году Гельмгольцемъ *), имѣетъ силу какъ для постоянныхъ, такъ и періодически перемѣнныхъ электровозбудительныхъ силъ, т. е. когда E періодически мѣняется со временемъ, какъ, напримѣръ, въ машинѣ съ перемѣннымъ токомъ, трансформаторѣ, телефонѣ и проч., въ предположеніи, что періодичность не настолько быстра, чтобы мѣшать равномѣрному распредѣленію тока по сѣченію проволоки и что электростатической емкостью проводника можно пренебречь.

Возникновеніе электрическаго тока въ проводникѣ съ самоиндукціею подъ вліяніемъ постоянной внѣшней электровозбудительной силы совершенно аналогично механическому явленію перехода тяжелаго тѣла изъ покоя въ движеніе подъ вліяніемъ постоянной внѣшней механической силы, когда тѣло движется въ сопротивляющейся средѣ. Если заставить внѣшнюю силу дѣйствовать на тѣло, то его скорость возрастаетъ отъ нуля до наибольшаго значенія V. Для того, чтобы быть въ состояніи поддерживать эту максимальную скорость, сила должна дѣйствовать постоянно и работа, затрачиваемая на преодолѣніе тренія, превращается въ сопротивляющейся средѣ постепенно въ теплоту. Тренію сопротивляющейся среды аналогично сопротивленіе проводника, которое поэтому можетъ быть названо сопротивленіемъ электрическаго тренія.

Когда скорость тѣла достигла наибольшей величины V, и такимъ образомъ установилось стаціонарное состояніе движенія, то въ тѣлѣ накопляется и опредѣленный запасъ кинетической энергіи, измѣряемый половиной произведенія изъ массы на квадратъ скорости: $\frac{1}{2}MV^2$. Въ продолженіи стаціонарнаго состоянія движенія сила употребляется только на то, чтобы преодолѣть сопротивленіе тренія; когда же сила перестала дѣйствовать, то накопленная кинетическая энергія превращается треніемъ сопротивляющейся среды въ теплоту или можетъ быть съ пользою употреблена инымъ способомъ, напримѣръ на поднятіе груза. Сказанное относится къ *стаціонарному* состоянію движенія. Въ теченіи перемѣннаго состоянія, во все время, пока скорость растетъ отъ нуля до наибольшей величины V, сила тратится съ одной стороны на увеличеніе мгновенной скорости v, съ другой же на преодолѣніе тренія въ противодѣйствующей средѣ. Если бы послѣдняго не существовало, то можно было бы положить, что внѣшняя сила, увеличивающая скорость тѣла вопреки инерціи его массы, равна

$$F=M\,\frac{dv}{dt}.$$

При существованіи же тренія въ противодѣйствующей средѣ присоединяется еще членъ Kv, въ которомъ K обозначаетъ нѣкоторой коэффиціентъ пропорціональности, а v скорость, такъ что

$$F=Kv+M\,\frac{dv}{dt}.$$

F представляетъ собою всю внѣшнюю силу, потребную на сохраненіе мгновенной скорости v вопреки тренію и на увеличеніе этой скорости на dv во время dt вопреки инерціи массы. Изъ этого основнаго уравненія можно опредѣлить v, когда извѣстны F, K и M. Совершенно аналогичнымъ образомъ можно изъ уравненія (1) опредѣлить мгновенную силу тока i, если извѣстны E, R и L.

Такимъ образомъ имѣются слѣдующія аналогіи между потокомъ электричества въ проводникѣ съ самоиндукціей L, въ которомъ подъ вліяніемъ постоянной внѣшней электровозбудительной силы E развивается сила тока i, и между поступательнымъ движеніемъ тяжелаго тѣла массы M, которое движется подъ вліяніемъ внѣшней механической силы F и получаетъ скорость v:

1. Электрическая энергія цѣпи, измѣряемая выраже-

*) Helmholtz, Ueber die Erhaltung der Kraft.

ніемъ $\frac{1}{2} L J^2$ аналогична кинетической энергіи движущагося тѣла $\frac{1}{2} M V^2$;

2. Электромагнитный моментъ цѣпи, измѣряемый выраженіемъ Li, аналогиченъ количеству движенія Mv тяжелаго тѣла.

3. Измѣненіе электромагнитнаго момента цѣпи, измѣряемое выраженіемъ $L\frac{di}{dt}$, аналогично измѣненію количества движенія тяжелаго тѣла, измѣряемому выраженіемъ $M\frac{dv}{dt}$.

4. Электрическое или омово сопротивленіе проводника, измѣренное величиною R, аналогично коэффиціенту пропорціональности K сопротивленія отъ тренія въ сопротивляющейся средѣ.

5. Самоиндукція проводника, измѣряемая коэффиціентомъ самоиндукціи L, аналогична инерціи тяжелаго тѣла, которая при поступательномъ движеніи пропорціональна его массѣ M.

6. Внѣшняя электровозбудительная сила цѣпи аналогична внѣшней механической силѣ F, дѣйствующей на тѣло.

Дѣйствія постоянной электровозбудительной силы въ проводникѣ съ самоиндукціей.

Изъ уравненія

$$E = Ri + L\frac{di}{dt}$$

мы можемъ легко вычислить мгновенную силу тока i въ ея зависимости отъ времени t, когда внѣшняя электровозбудительная сила *постоянна*.

Раздѣляя уравненіе на R, получаемъ

$$J = i + \frac{L}{R}\frac{di}{dt}.$$

Отношеніе L/R обозначаетъ, очевидно, время и поэтому зовется «временной постоянной». Обозначивъ ее черезъ τ, получимъ:

$$-\frac{dt}{\tau} = \frac{d\,(J-i)}{J-i}$$

и, интегрируя, найдемъ

$$-\frac{t}{\tau} = \log\,(J-i) - \lg\, J$$

или

$$i = J\left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Въ этомъ выраженіи e есть величина, равная 2,71828, основаніе неперовыхъ логариѳмовъ.

По истеченіи времени $t = \tau = \frac{L}{R}$ для величины i получимъ значеніе

$$i = J\,\frac{e-1}{e} = 0{,}632\ J.$$

По истеченіи времени, равнаго временной постоянной мгновенная сила тока достигаетъ значенія, равнаго приблизительно $^2/_3$ наибольшей величины силы тока, которая получается по закону Ома для стаціонарнаго состоянія электрическаго потока. Если бы было возможно какимъ-нибудь способомъ измѣрить это время, то мы бы были въ состояніи вычислить коэффиціентъ самоиндукціи по формулѣ $L = R\tau$.

Когда цѣпь размыкается, магнитное поле вокругъ проводника исчезаетъ и его энергія превращается въ электрическую энергію; появляется токъ проявляющійся въ видѣ искры размыканія. Сила тока можетъ быть вычислена изъ основнаго уравненія, полагая въ немъ $E = 0$. Въ этомъ случаѣ мы получаемъ

$$0 = Ri + L\frac{di}{dt}$$

и, интегрируя,

$$\log i = -\frac{t}{\tau} + C.$$

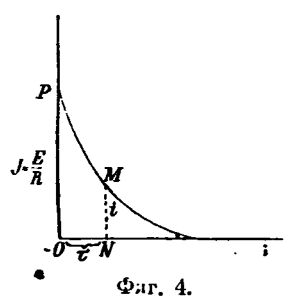
Такъ какъ при $t = 0$, $i = J$, поэтому $C = \log J$, предыдущее равенство переходитъ въ такое:

$$i = J\, e^{-\frac{t}{\tau}}$$

или

$$i = J\, e^{-\frac{Rt}{L}} \quad \ldots\ldots\ldots$$

На фиг. 4 сила тока i изображена при помощи кривой. Во время $t = 0$ сила тока имѣетъ наибольшее значеніе J,



Фиг. 4.

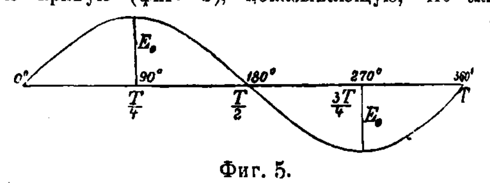
падаетъ по истеченіи времени $t = \tau$ до $i = \frac{1}{2{,}718}$ и потомъ до нуля въ чрезвычайно короткій промежутокъ времени.

Дѣйствія періодически перемѣнной электровозбудительной силы въ проводникѣ съ самоиндукціей.

Допустимъ теперь, что въ цѣпи дѣйствуетъ простая періодическая внѣшняя электровозбудительная сила, мѣняющаяся съ временемъ такимъ же образомъ, какъ и колебанія маятника, камертона или струны, и дана формулою

$$E = E_0 \sin\frac{2\pi}{T}t \quad \ldots\ldots$$

Принявъ время t за абсциссу, а соотвѣтственную электровозбудительную силу за ординату, мы получимъ синусовидную кривую (фиг. 5), показывающую, что электро-



Фиг. 5.

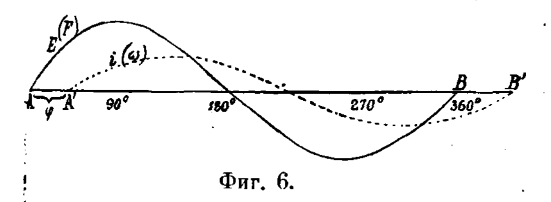
возбудительная сила растетъ отъ нуля до наибольшаго значенія E_0, потомъ уменьшается до нуля, затѣмъ въ обратномъ направленіи опять растетъ до $-E_0$ и, наконецъ, по истеченіи времени T опять становится нулемъ. Время T зовется періодомъ, а его обратная величина $\frac{1}{T} =$ числомъ колебаній электровозбудительной силы, которая въ секунду достигаетъ значенія нуль. E_0 зовется амплитудой, а длина OT длиною волны электровозбудительной силы. Если раздѣлить линію OT на 360°, то абсциссу, отвѣчающую мгновенной электровозбудительной силѣ, называютъ фазой. Наибольшее значеніе $+E_0$ имѣетъ фазу 90°, а $-E_0$ фазу 270°.

Мы можемъ теперь спросить, какъ мѣняется сила тока въ проводникѣ съ самоиндукціей L и сопротивленіемъ R, когда внѣшняя электровозбудительная сила періодически перемѣнна; иначе, какое выраженіе для силы тока доставитъ намъ основное уравненіе.

$$E_0 \sin\frac{2\pi}{T}t = Ri + L\frac{di}{dt},$$

...въ потокѣ электричества водворится стаціонарное ...тояніе.

Мы выберемъ для отвѣта на этотъ вопросъ самый про... и короткій путь, придерживаясь аналогіи съ періодической механической силой, которая вызываетъ періодическую скорость одного съ нею періода. Мы можемъ по... ожидать, что волнообразная электровозбудительная ... порождаетъ волнообразную-же силу тока съ періодомъ ... же величины. Надо, однако, принять еше въ расчетъ, ... по причинѣ самоиндукціи проводника электровозбудительная сила и сила тока не будетъ *одновременно* достигать значенія нуль и наибольшаго значенія. Можетъ быть, ... сила тока будетъ *запаздывать* въ фазѣ сравнительно ... электровозбудительной силой, какъ это изображено ... E и i на фиг. 6. Кривая тока i сдвинута относительно кривой электровозбудительной силы E на фазу φ, ... обѣ они имѣютъ одинъ и тотъ же періодъ T, такъ что $AB = A'B'$.



Фиг. 6.

На подобное предположеніе мы будемъ наведены, разсматривая колебательное движеніе, производимое тяжелымъ ...овымъ колесомъ на оси подъ вліяніемъ волнообразно... ...ющейся механической силы, въ томъ случаѣ, если ...со испытываетъ во втулкахъ треніе, какъ, напримѣръ, ...ляторъ въ карманныхъ часахъ. Моментъ вращенія дѣйствующей силы и угловая скорость растутъ въ теченіи ...то періода времени, каждая отъ нуля до наибольшей ...чины и затѣмъ опять уменьшаются до нуля. Но въ виду ...рціи массы угловая скорость достигаетъ наибольшаго и ...ваго значеній тѣмъ позже, чѣмъ моментъ инерціи махового колеса больше. Нанося время на ось абсциссъ, а механическую силу на ось ординатъ, получимъ за нѣкоторый ...межутокъ времени двѣ аналогичныя кривыя (фиг. 6), ...нутыя другъ относительно друга на нѣкоторую фазу. Опираясь на эту аналогію, положимъ, что мгновенная ...ла тока представляется выраженіемъ

$$i = J_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \varphi\right) \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

...тоянная J_0, которую требуется опредѣлить, обозначаетъ ...льшую силу тока, а φ разность фазъ. Сила тока равна ... не тогда, когда $t = 0$, но когда $\frac{2\pi}{T}t_0 - \varphi = 0$, т. е. ...болѣе поздній моментъ $t_0 = \frac{T}{2\pi}\varphi$. Обѣ постоянныя J_0 ... надо опредѣлить, принимая въ расчетъ то условіе, что ...раженіе для мгновенной силы тока удовлетворяетъ для ...каго времени основному уравненію Гельмгольца. Вставляя i и $\frac{di}{dt}$ въ это основное уравненіе, мы получимъ

$$RJ_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \varphi\right) + \frac{2\pi}{T} J_0 L \cos\left(\frac{2\pi}{T}t - \varphi\right) = E_0 \sin\frac{2\pi}{T}t.$$

...и написавъ иначе:

$$\left[RJ_0 \cos\varphi + \frac{2\pi}{T}J_0 L \sin\varphi - E_0\right] \sin\frac{2\pi}{T}t$$

$$+\left[- RJ_0 \sin\varphi + \frac{2\pi}{T}J_0 L \cos\varphi\right] \cos\frac{2\pi}{T}t = 0.$$

Это выраженіе должно быть равно нулю для какого угодно времени, что возможно только въ томъ случаѣ, если каждый изъ множителей, какъ при $\sin\frac{2\pi}{T}$, такъ и при $\cos\frac{2\pi}{T}$ сами по себѣ будутъ равны нулю. Отсюда получаются два условныхъ уравненія

$$RJ_0 \sin\varphi + \frac{2\pi}{T}J_0 L \cos\varphi = 0 \quad \ldots (7)$$

$$RJ_0 \cos\varphi + \frac{2\pi}{T}J_0 L \sin\varphi = 0 \quad \ldots (8)$$

Изъ уравненія (7) получаетъ для разности фазъ выраженіе

$$\operatorname{tg}\varphi = -\frac{2\pi L}{RT} \quad \ldots\ldots\ldots (9)$$

Разность въ фазѣ кривой для силы тока относительно кривой для электровозбудительной силы тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе коэффиціентъ самоиндукціи въ сравненіи съ произведеніемъ изъ сопротивленія проводника на періодъ электровозбудительной силы. Величина $\operatorname{tg}\varphi$ достигаетъ своего максимума для $\varphi = \frac{\pi}{2}$ или $\varphi = 90^0$. Наибольшее запозданіе индуктированнаго тока равно, поэтому, четверти всего періода, при какихъ угодно значеніяхъ L, R и T.

Уравненія (7) и (8), будучи возведены въ квадратъ и сложены, даютъ другую постоянную J_0 или наибольшую силу тока:

$$J_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \frac{4\pi^2 L^2}{T^2}}}$$

Такимъ образомъ мгновенная сила тока будетъ

$$i = \frac{E_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \varphi\right)}{\sqrt{R^2 + \frac{4\pi^2 L^2}{T^2}}} \quad \ldots (10)$$

Изъ этой формулы можно видѣть, что самоиндукція проводника не только причиняетъ разность фазъ кривой силы тока, но и увеличиваетъ сопротивленіе проводника. Въ проводникѣ, лишенномъ самоиндукціи мгновенная сила тока была бы по закону Ома

$$i = \frac{E_0}{R} \sin\frac{2\pi}{T}t.$$

Въ проводники съ самоиндукціей амплитуда тока меньше, такъ какъ сопротивленіе становится по причинѣ самоиндукціи больше. Это сопротивленіе дается выраженіемъ

$$R_1 = \sqrt{R^2 + \frac{4\pi^2 L^2}{T^2}}$$

и зовется «кажущимся» сопротивленіемъ. При большой самоиндукціи проводника и очень маломъ періодѣ колебанія, кажущееся сопротивленіе можетъ стать очень большимъ. Напримѣръ, катушка въ 222 Ω сопротивленія, при коэффиціентъ самоиндукціи $L = 1{\cdot}2$ земнаго квадранта, обладаетъ при 220 колебаніяхъ въ секунду кажущимся сопротивленіемъ $R_1 = 1.674$ Ω, а при 440 колебаніяхъ $R_1 = 3.325$ Ω.

Связь между кажущимся сопротивленіемъ, Омовымъ сопротивленіемъ и разностью фазъ можно графически представить въ видѣ прямоугольнаго треугольника ABC. Если катетъ BC обозначаетъ Омово сопротивленіе R_1, катетъ AB индуктивное сопротивленіе $\frac{2\pi L}{T}$, то кажущееся сопротивленіе R_1 будетъ дано гипотенузой AC, а разность фазъ угломъ φ между R и R_1. Поэтому

$$\cos\varphi = \frac{R}{R_1} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{2\pi L}{T}\right)^2}} \quad \ldots (11)$$

$$\sin \varphi = \frac{2\pi L}{T \sqrt{R^2 + \left(\frac{2\pi L}{T}\right)^2}} \quad . \; . \; . \; . \; (12)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2\pi L}{R\,T}.$$

Явленіе, аналогичное кажущемуся сопротивленію, мы можемъ наблюдать у маховаго колеса, качающагося на своей оси.

Здѣсь я вращаю тяжелое маховое колесо, и затраченная сила достаточна для того, чтобы только преодолѣвать треніе во втулкахъ оси. Колесо вращается при этомъ съ постоянною угловою скоростью. Чтобы увеличить послѣднюю надо также увеличить и силу. Когда я отпускаю рукоятку, то колесо останавливается не мгновенно, но продолжаетъ вертѣться, пока накопившаяся въ немъ энергія не превратится въ теплоту отъ тренія во втулкахъ. Если же я, вмѣсто того, чтобы пустить рукоятку, нажму на нее въ обратномъ направленіи, то колесо только тогда послушается механической силы, когда послѣдняя уничтожитъ запасенную колесомъ энергію и преодолѣетъ треніе. Съ этого времени сила опять пойдетъ на то, чтобы увеличить скорость колеса и такимъ образомъ сообщить ему запасъ энергіи. Поэтому необходимо затратить больше работы, останавливая колесо и затѣмъ заставляя его вращаться въ обратную сторону, чѣмъ если ограничиться поддерживаніемъ вращенія въ одну сторону. Можно далѣе легко замѣтить, что работа эта должна быть тѣмъ больше, чѣмъ чаще въ опредѣленное время мѣняетъ колесо направленіе вращенія и чѣмъ больше моментъ инерціи колеса. Качающееся маховое колесо окажетъ работающей силѣ *большее сопротивленіе*, чѣмъ маховое колесо, вращающееся въ одномъ направленіи. Вы видите, что я съ небольшимъ усиліемъ могу вертѣть въ одномъ направленіи тяжелое маховое колесо, но долженъ сильно напрягаться, чтобы измѣнить направленіе вращенія только дважды въ секунду.

Изслѣдуемъ теперь, какова *средняя сила тока* $M[i]$, когда мгновенная сила тока мѣняется по закону синусовъ. Мы найдемъ ее, составивъ интегралъ

$$M[i] = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0 + \frac{T}{2}} i dt$$

$$= \frac{2}{T} \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \frac{4\pi^2 L^2}{T^2}}} \int_{t_0}^{t_0 + \frac{T}{2}} \sin \frac{2\pi}{T} (t - t_0)\, dt,$$

гдѣ $t_0 = \frac{T}{2\pi}\varphi$ и обозначаетъ время, въ которое сила тока достигаетъ значенія нуля позже, чѣмъ электровозбудительная сила.

Положивъ

$$\frac{2\pi}{T}(t - t_0) = x$$

и

$$dt = \frac{T}{2\pi}\, dx,$$

мы измѣнимъ предѣлы интеграла, которые станутъ:

$$x = \frac{2\pi}{T}(t_0 - t_0) = 0$$

и

$$x = \frac{2\pi}{T}\left(t_0 + \frac{T}{2} - t_0\right) = \pi;$$

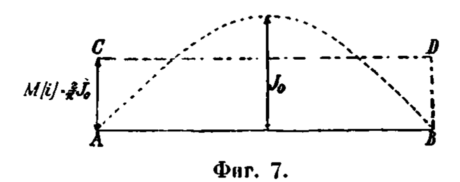
поэтому

$$M[i] = \frac{1}{\pi} \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{2\pi L}{T}\right)^2}} \int_{x=0}^{x=\pi} \sin x dx.$$

$$M[i] = \frac{2}{\pi} \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{2\pi L}{T}\right)^2}} = 0{,}637 \frac{E_0}{R_1}$$

$$= 0.637\, J_0 \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; ($$

Средняя сила тока составляетъ такимъ образомъ пр[...] $^3/_5$ наибольшей ея величины. На фиг. 7 площадь, за[...]ченная между синусовой линіей и абсциссой, равна [...]щади прямоугольника $ABCD$; поэтому



Фиг. 7.

$$AB + AC = \int_{t_0}^{t_0 + \frac{T}{2}} i dt,$$

а такъ какъ основаніе $AB = \frac{T}{2}$, то высота д[...] быть

$$AC = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0 + \frac{T}{2}} i dt = \frac{2}{\pi} J_0,$$

или равна средней силѣ тока.

Обѣ площади представляютъ одно и то же коли[...] электричества, необходимое для того, чтобы втеченіе періода поддерживать или перемѣнный токъ i, и [...]стоянный средній токъ $\frac{2}{\pi} J_0$.

Перемѣнный токъ разовьетъ въ проводникѣ о[...]ленное количество теплоты, и можно задаться вопро[...] какъ велика должна быть сила постояннаго тока, [...] она произвела то же количество тепла, что и пере[...] сила тока.

Средняя тепловая работа выражается

$$A = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0 + \frac{T}{2}} R i^2 dt.$$

$$A = \frac{2}{T} \frac{R E_0^2}{R_1^2} \int_{t_0}^{t_0 + \frac{T}{2}} \sin^2 \frac{2\pi}{T}(t - t_0) dt.$$

Положивъ, какъ и выше

$$\frac{2\pi}{T}(t - t_0) = x$$

и обративъ вниманіе, что

$$\int_0^\pi \sin^2 x dx = \frac{1}{2} \int_0^\pi (1 - \cos 2x)\, dx = \cdot$$

мы получимъ

$$A = \frac{RE_0^2}{\pi R_1^2} \int_0^{\pi} \sin^2 x dx = \frac{RE_0^2}{2R_1^2} \quad . \; . \; . \; . \; (14).$$

Постоянная сила тока, которую мы назовемъ эффек-[тив]ною $J_{eff.}$, доставила бы тепловую работу $J^2_{eff.}R$, [поэт]ому чтобы опредѣлить ее рѣшаемъ уравненіе

$$J^2_{eff.}R = \frac{RE_0^2}{2R_1^2}$$

$$J_{eff.} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{E_0}{\sqrt{R^2 = \left(\frac{2\pi L}{T}\right)^2}} = 0{,}7071\, J_0$$

Эта эффективная сила тока больше средней силы тока [ч]исленно равна корню квадратному изъ средняго квад-[ра]та силы тока. Послѣдній будетъ

$$M[i^2] = \frac{1}{2} \frac{E_0}{R^2 + \left(\frac{2\pi L}{T}\right)^2} = \frac{1}{2} J^2 \; . \; . \; (15).$$

Средняя тепловая работа (14) можетъ быть написана [так]же и такъ:

$$A = \frac{1}{2} \frac{E_0^2}{R_1} \cos\varphi = \frac{1}{2} E_0 J_0 \cos\varphi \quad . \; . \; . \; . \; (16).$$

Работа, затраченная въ цѣпи зависитъ, такимъ образомъ, [о]тъ разности фазъ и *численно равна полупроизведенію изъ [мак]симальной электровозбудительной силы и максималь-[но]й силы тока на косинусъ разности фазъ.*

Средняя тепловая работа перемѣннаго тока можетъ [бы]ть также найдена, если составить среднюю величину про-[из]веденія изъ мгновенной электровозбудительной силы e [н]а силу тока i

$$A = M[ei] = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0 + \frac{T}{2}} eidt$$

$$= \frac{2}{T} \frac{E_0^2}{R_1} \int_{t_0}^{t_0 + \frac{T}{2}} \sin \frac{2\pi}{T} t \, \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - t_0\right) dt,$$

$$M[ei] = \frac{1}{2} E_0 J_0 \cos\varphi$$

Работа, совершаемая *равномѣрнымъ* электрическимъ [то]комъ между двумя точками цѣпи въ секунду, опредѣ-[ля]ется произведеніемъ изъ силы тока J и разности потен-[ці]аловъ E упомянутыхъ точекъ. Работа эта, стало быть, [мо]жетъ быть опредѣлена изъ двухъ отдѣльныхъ измѣреній, [сдѣ]ланныхъ при помощи гальванометровъ. При перемѣн-[ны]хъ токахъ надо употреблять или электродинамометръ [или] калориметръ, такъ какъ стрѣлка гальванометра не [от]клоняется перемѣнными токами.

Если электродинамометръ приспособленъ къ измѣренію [сил]ы тока, то онъ даетъ въ случаѣ постояннаго тока квад-[ра]тъ его силы. Если же электродинамометръ употребить [дл]я измѣренія періодически перемѣнныхъ токовъ, то онъ [даст]ъ среднюю величину квадрата силы тока въ теченіи [одн]ого періода.

Электродинамометръ можетъ быть устроенъ такъ же какъ [воль]тметръ; въ этомъ случаѣ аппаратъ долженъ состоять [из]ъ многихъ оборотовъ очень тонкой проволоки и обла-[дат]ь соотвѣтственнымъ образомъ большимъ сопротивленіемъ. [Так]ой динамометръ мѣритъ въ случаѣ постояннаго элек-[три]ческаго потока квадратъ разности потенціаловъ, въ [слу]чаѣ же перемѣннаго тока среднюю величину, которую имѣетъ квадратъ разности потенціаловъ въ теченіи одного періода.

Стало употребительнымъ называть квадратные корни изъ приведенныхъ среднихъ величинъ «эффективною силою тока» и «эффективною разностью потенціаловъ». Если i и e обозначаютъ дѣйствительныя значенія силы тока и разности потенціаловъ, то

$$J_{eff.} = \sqrt{M[i^2]}, \qquad E_{eff.} = \sqrt{M[e^2]}.$$

Но,

$$M[e^2] = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} e^2 dt$$

$$= \frac{2}{T} E_0^2 \int_0^{\frac{T}{2}} \sin^2 \frac{2\pi}{T} t \, dt = \frac{1}{2} E_0^2,$$

а потому

$$E_{eff.} = \frac{1}{\sqrt{2}} E_0,$$

и произведеніе

$$J_{eff.} E_{eff.} \; \frac{1}{2} \frac{E_0^2}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{2\pi L}{T}\right)^2}} = \frac{1}{2} \frac{E_0^2}{R_1}$$

$$= \frac{1}{2} E_0 J_0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; (17)$$

Если сравнить этотъ результатъ съ уравненіемъ (16), то окажется, что эффективная сила тока и эффективная разность потенціаловъ, измѣренныя въ отдѣльности при помощи двухъ соотвѣтственнымъ образомъ приспособленныхъ электродинамометровъ, не имѣютъ свойства давать въ своемъ произведеніи, $J_{eff.}E_{eff.}$, работу, расходуемую токомъ въ секунду въ проводникѣ съ самоиндукціей. Эта работа опредѣляется средней величиной

$$M[ei] = \frac{1}{2} E_0 J_0 \cos\varphi$$

Уравненія (16) и (17) становятся только тогда тождественными, если самоиндукція $L = 0$, какъ въ лампахъ накаливанія. Только въ этомъ случаѣ,

$$M[ei] = E_{ffe.} J_{eff.} = \frac{1}{2} E_0 J_0$$

и обѣ величины можно измѣрить въ отдѣльности. Если же самоиндукція отлична отъ нуля, то сила тока и разность потенціаловъ не могутъ быть измѣрены въ отдѣльности. Въ этомъ случаѣ нуженъ ваттметръ, измѣряющій среднюю величину

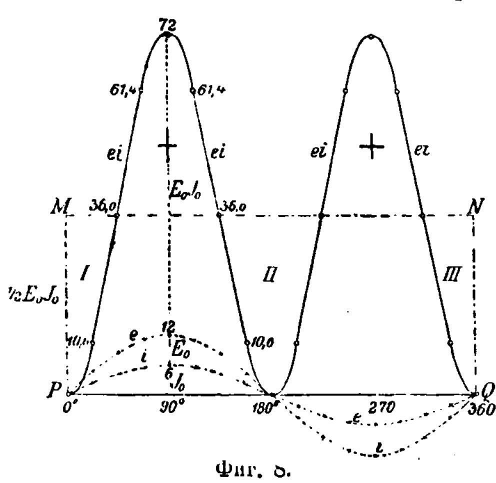
$$A = M[ei] = \frac{1}{2} E_0 J_0 \cos\varphi \; *)$$

Изъ послѣдняго выраженія видно, что средняя работа можетъ быть даже равна нулю, когда разность фазъ $\varphi = \frac{\pi}{2}$, и слѣдовательно $\operatorname{tg} \varphi = \frac{2\pi L}{RT} = \infty$. Такимъ образомъ въ проводникѣ можетъ дѣйствовать синусовидная электродвижущая сила не производя въ немъ работы.

На фиг. 8 представлены линіями e и i синусовидная электровозбудительная сила и отвѣчающая ей синусовидная

*) Stefan, Ausstellungsbericht über die von der wissenschaftlichen Kommission an Dynamomaschinen und electrischen Lampen ausgeführten Messungen. Wien 1886.

же сила тока. Каждая ордината кривой тока равна соотвѣтственной ординатѣ кривой e, дѣленной на сопротивленіе



Фиг. 8.

цѣпи, которое мы примемъ равнымъ 2 Ω. Пусть, далѣе, самоиндукція проводника весьма мала. Перемножая соотвѣтственныя ординаты, получаемъ произведенія ei и можемъ ихъ разсматривать, какъ ординаты новой кривой ei. Эта кривая показываетъ, какъ мѣняется со временемъ произведеніе изъ мгновенной электровозбудительной силы на силу тока, иными словами—мгновенная работа. Кривая ei, можетъ быть, поэтому, названа кривою работы. Наибольшая сила тока $J_0 = 6$ и наибольшая электровозбудительная сила $E_0 = 12$, такъ что наибольшая работа $E_0J_0 = 72$. При этомъ построеніи надо обратить кромѣ, того, вниманіе на то, что въ теченіи втораго полуперіода какъ i, такъ и e имѣютъ отрицательный знакъ, а потому въ разсматриваемомъ случаѣ даютъ положительное произведеніе. Кривая работы представляется волнообразною линіей, лежащею выше оси абсциссъ. Иначе представляется дѣло, какъ то увидимъ дальше, когда кривая тока имѣетъ разность фазъ.

Площадь, ограниченная кривой работы и абсциссой, представляетъ работу, *совершенную* электровозбудительною силою въ теченіи одного періода; эта работа превращается въ проводникѣ въ теплоту.

Изъ фиг. 8 видно, что кривая работы симметрична относительно прямой MN, проходящей параллельно оси абсциссъ на половинѣ высоты ординаты E_0J_0. Лежащіе подъ прямой MN выступы площади работы достаточны для выполненія пустыхъ выемокъ I, II и III. Работа, совершенная во время одного періода, можетъ быть поэтому также представлена площадью прямоугольника $MP + PQ$. По основаніе $PQ = T$ представляетъ періодъ, поэтому высота $MP = \frac{1}{2} E_0J_0$ представляетъ среднюю работу, совершаемую въ секунду электровозбудительною силою въ проводникѣ безъ замѣтной самоиндукціи.

Разсмотримъ теперь случай, когда кривая тока вслѣдствіе самоиндукціи отстаетъ отъ кривой электровозбудительной силы на фазу въ 45°. Въ этомъ случаѣ

$$\frac{2\pi L}{RT} = 1,$$

а потому

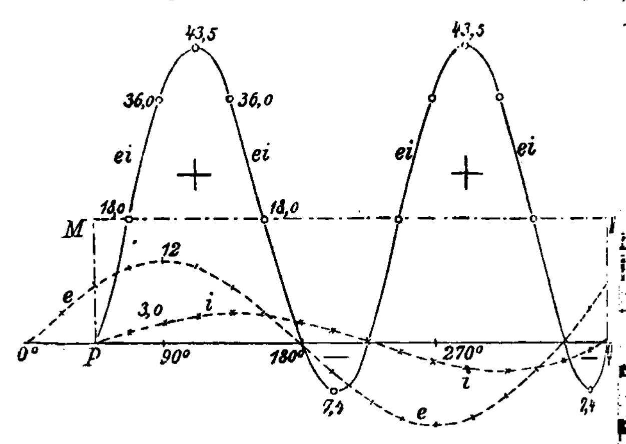
$$\frac{2\pi L}{T} = 2,$$

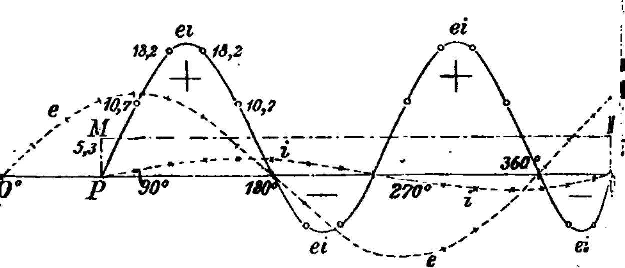
$$R_1 = \sqrt{8}$$

и

$$J_0 = \frac{12}{\sqrt{8}} = 4{,}245.$$

Кривая тока i (фиг. 8) окажется болѣе плоскою, чѣмъ въ предъидущемъ случаѣ. Перемноживъ съ соблюденіемъ знаковъ ординаты обѣихъ кривыхъ и построивъ изъ произведеній кривую работы ei, мы получимъ четыре участка площади, изъ которыхъ два большихъ, положительн... лежатъ выше оси абсциссъ и два меньшихъ, отрица... ныхъ, подъ осью абсциссъ. Въ проводникѣ съ самоин... ціею электровозбудительная сила не только соверша...





Фиг. 9 и 10.

работу, но и *затрачиваетъ* ее. Алгебраическая сумма ... четырехъ участковъ площадей служитъ мѣрой работы, ... вершенной въ теченіе періода электровозбудительной ... Средняя ордината MP уже не равна половинѣ макси... ной ординаты положительной, верхней части площад... равна полуразности между наибольшими ординатами ... жительнаго и отрицательнаго участковъ, и потому ... меньше $\frac{1}{2} E_0J_0$. Вычисленіе показываетъ, что эта ... чина должна быть еще помножена на косинусъ раз... фазъ.

Разсмотримъ еще случай, когда въ силу самоин... кривая тока отстаетъ на фазу въ 67,5°.

Для построенія кривой получаемъ:

$$\operatorname{tg} 67{,}5^0 = 2{,}3797,$$

$$\frac{2\pi L}{T} = 4{,}7594,$$

$$R_1 = 5{,}1625$$

и для амплитуды силы тока

$$J_0 = 2{,}324.$$

Изъ фиг. 9 и 10 видно, что сила тока, обусло... электровозбудительной силой и совершенная или зат... ная послѣдней работа будутъ тѣмъ менѣе, чѣмъ ... самоиндукція. Изъ фиг. 10 видно, кромѣ того, что по... тельные и отрицательные участки площади ста... менѣе разнящимися по величинѣ, чѣмъ на фиг. 9; ... этому на фиг. 10 избытокъ положительныхъ уча... надъ отрицательными меньше, чѣмъ въ предыдуще... чаѣ; это показываетъ, что, какъ работа, дѣйстви... совершенная электровозбудительной силой въ тече... ріода, такъ и выраженная черезъ ординату MP ... совершенная въ одну секунду, оказываются меньше... въ предыдущемъ случаѣ.

Въ проводникѣ съ очень большимъ коэффиці... самоиндукціи кривая тока отстаетъ почти на фазу 90... кривой электровозбудительной силы и работа, совер... послѣдней, мало отличается отъ нуля.

Примѣромъ этого служитъ трансформаторъ, котораго первичная цѣпь незамкнута. Вторичный токъ равенъ нулю, первичный, вслѣдствіе самоиндукціи трансформатора, очень малъ и отстаетъ въ фазѣ почти на 90° позади электровозбудительной силы. Въ первичной цѣпи не совершается почти никакой работы.

Для $L = \infty$ $J_0 = O$ поэтому и работа, совершаемая въ секунду электровозбудительною силою, равна нулю.

(Elektrotechnische Zeitschrift).

Германъ фонъ-Гельмгольцъ.

Имя Гельмгольца извѣстно каждому, кто хоть сколько-нибудь слѣдилъ за развитіемъ строя естественныхъ наукъ въ послѣднюю половину нашего столѣтія. Люди, посвятившіе себя наукѣ, чтутъ въ немъ недосягаемый образецъ учителя-философа, ясный, спокойный и проницательный умъ котораго открылъ человѣчеству часть тѣхъ таинственныхъ связей, на которыхъ зиждется природа, часть той зависимости, которая скрыто отъ насъ связываетъ міръ органическій съ міромъ физическимъ. Дѣйствительно, рѣдко природа соединяла въ одномъ человѣкѣ столь необычайную способность къ индуктивному мышленію съ столь развитымъ критическимъ талантомъ, столь выдающуюся опытную ловкость и изобрѣтательность съ громадными математическими познаніями, столь глубокую ученость съ завлекательной способностью изложенія; надъ всѣмъ этимъ господствуетъ глубокій умъ, который не есть необходимое условіе научной оригинальности, но который въ твореніяхъ Гельмгольца сквозитъ изъ каждой строчки и даетъ ему совершенно особый возвышающій отпечатокъ. Разносторонность его поражаетъ всѣхъ: въ физіологіи, физикѣ, анатоміи, химіи, математикѣ и даже метеорологіи, онъ открылъ новые горизонты и изложилъ ихъ, какъ истинный философъ. Къ Гельмгольцу лучше всего приложимо гордое изрѣченіе Гиппократа: «ἰατρός φιλόσοφος ἰσόθεος»—подобенъ богамъ тотъ естествоиспытатель, который въ то же время и философъ.

Германъ-Лудвигъ-Фердинандъ Гельмгольцъ, сынъ учителя гимназіи въ Потсдамѣ—Фердинанда Гельмгольца, родился 19 (31) августа 1821 года. По желанію отца, онъ 17 лѣтъ отъ роду, въ 1838 году, поступилъ въ военно-медицинскій институтъ Фридриха-Вильгельма въ Берлинѣ для изученія медицины. Внутреннія побужденія влекли его къ изученію физики, обстоятельства заставили его заняться медициной. Лекціи Іоганна Мюллера, знаменитаго физіолога, произвели на талантливаго юношу громадное впечатлѣніе; онъ часто вспоминалъ о нихъ тогда уже, когда онъ самъ въ разцвѣтѣ силъ читалъ физіологію въ Гейдельбергѣ. Онъ говоритъ въ одной изъ своихъ рѣчей (1877): «Я никогда не сожалѣю, что занимался медициной; это было для меня истиннымъ счастіемъ. Не говоря уже о томъ, что я приступилъ къ изученію медицины въ такой періодъ, когда всякій, обладавшій мало-мальской способностью къ физическимъ методамъ изслѣдованія имѣлъ предъ собой непочатое дѣвственное поле для дѣятельности, я смотрю на изученіе медицины, и какъ на школу, которая мнѣ дала то, чего никто другой мнѣ не могъ бы дать—именно познаніе тѣхъ вѣчныхъ законовъ, на которыхъ зиждется всякая научная дѣятельность». Изученіе медицины въ тѣ времена основывалось главнымъ образомъ на изученіи книгъ—микроскопы были рѣдки и дороги. «Мнѣ самому, говоритъ Гельмгольцъ, удалось добыть микроскопъ только тогда, когда, заболѣвъ тифомъ во время осеннихъ каникулъ 1841 года и пролежавъ нѣкоторое время въ больницѣ, я по выходѣ оказался обладателемъ небольшой суммы денегъ, накопившихся изъ моихъ скромныхъ доходовъ во время моей болѣзни». При помощи этого несовершеннаго прибора проницатель-



Фиг. 11.

ный глазъ двадцатилѣтняго ученаго прослѣдилъ нервные процессы въ гангліяхъ безпозвоночныхъ, давшіе матеріалъ для его докторской диссертаціи: «De fabrica systematis nervosi evertebratorum», защищенной имъ 11 ноября 1842 г. Получивъ въ томъ же году мѣсто ординатора въ берлинской больницѣ Charité, онъ уже въ 1843 г. выступаетъ съ новой научной работой: «О природѣ гніенія и броженія», въ которой описываетъ наблюденія и опыты для доказательства органическаго происхожденія этихъ явленій, и опровергаетъ прямыми опытами мнѣніе Либиха, приписывавшаго ихъ дѣйствію кислорода воздуха. Гельмгольцъ видѣлъ въ микроскопѣ тѣ организмы, которые вызываютъ броженіе, но благодаря тогдашнимъ несовершеннымъ методамъ изслѣдованія не могъ утвердительно приписать имъ причину этихъ явленій и съ обычной осторожностью заканчиваетъ свою работу словами: «Изъ этихъ изслѣдованій слѣдуетъ, что гніеніе можетъ возникнуть независимо отъ жизненныхъ процессовъ». Какъ недалекъ онъ былъ отъ одного изъ величайшихъ открытій послѣдняго времени! Въ 1843 г. онъ получилъ мѣсто военнаго врача въ Потсдамѣ; всѣ досуги свои онъ посвящаетъ изученію физики, сотрудничая въ то же время въ издававшихся физическимъ обществомъ въ Берлинѣ «Fortschritte der Physik». Въ 1845 г. ему было предложено написать статью «Теплота» въ Энциклопедическомъ Словарѣ Медицинскихъ Знаній, и здѣсь впервые его умъ и его способности высказались въ полномъ блескѣ. Онъ смѣло приступилъ къ разсмотрѣнію наиболѣе основнаго научно-философскаго вопроса: зависитъ ли жизнь организмовъ отъ особой самозарождающейся, ad hoc—существующей силы, или управляется она тѣми законами, которые познаны нами въ неорганической природѣ. Онъ изслѣдовалъ обмѣнъ веществъ въ мускулѣ во время его дѣятельности и нашелъ, что заключающіяся въ мышцахъ растворимыя въ водѣ соединенія уменьшаются въ количествѣ отъ дѣятельности мышцъ, растворимыя же въ спирту увеличиваются; отсюда онъ заключилъ, «что въ заключающихся въ нихъ соединеніяхъ происходятъ химическія перемѣны». Въ 1847 г. онъ подтвердилъ строго-научно Беккерелево наблюденіе, что во время дѣятельности мышцъ развивается теплота.

Не эти ли изслѣдованія законовъ органической жизни навели юнаго мыслителя на тѣ великія идеи, которыя изложены въ его классическомъ сочиненіи: «О сохраненіи энергіи» (Ueber die Erhaltung der Kraft, 1847). Основное положеніе этой работы нынѣ сдѣлалось основнымъ положеніемъ всей физики, всей химіи—оно гласитъ: Если система матеріальныхъ точекъ подвержена только притягивающимъ или отталкивающимъ силамъ взаимодѣйствія между отдѣльными матеріальными точками, представляющими функціи только разстоянія между частицами, то для такой системы существуетъ, независимо отъ ея состоянія, неизмѣнная постоянная величина—сумма энергіи потенціальной и кинетической. При переходѣ системы изъ одного состоянія въ другое мѣняются обѣ слагающія величины, причемъ одна настолько же увеличивается, насколько другая уменьшается. Наоборотъ, если мы убѣдимся, что въ какомъ-либо явленіи природы выполнена указанная зависимость, то мы можемъ быть увѣрены, что это явленіе зависитъ исключительно отъ такихъ «центральныхъ» силъ. Сравнительно недавно было высказано это положеніе, а уже теперь оно, какъ яркая нить проходитъ сквозь всю науку «натуральной философіи», какъ ее называютъ англичане, и безъ сомнѣнія вмѣстѣ съ Клаузіусовымъ положеніемъ объ энтропіи долго будетъ служить путеводной нитью въ лабиринтѣ физическихъ явленій. Вспомнимъ только, что теперь мы до того привыкли къ очевидности закона сохраненія энергіи, что противорѣчіе ему считаемъ сведеніемъ «ad absurdum». Далеко не такъ отнеслись къ этому во время появленія работы Гельмгольца. Статью малоизвѣстнаго Потсдамскаго врача отказались помѣстить въ журналѣ «Poggendorf's Annalen der Physik», такъ же какъ 5 лѣтъ передъ тѣмъ отказались помѣстить въ немъ разсужденіе о механической теоріи тепла, столь же малоизвѣстнаго Гейлбронскаго естествоиспытателя Роберта Майера. Изъ берлинскихъ академиковъ за Гельмгольца заступился одинъ лишь знаменитый математикъ Якоби. Такимъ образомъ, Гельмгольцъ принужденъ былъ издать свою статью маленькой отдѣльной брошюркой въ 1847 году. Изложивъ въ введеніи необходимость законныхъ зависимостей въ природѣ, и сведенія всѣхъ явленій къ простѣйшимъ механическимъ, авторъ ея въ слѣдующихъ трехъ главахъ выводитъ и формулируетъ вышеизложенный законъ сохраненія энергіи и переходитъ дальше къ его примѣненіямъ. Четвертая глава посвящена механическому ученію о теплѣ, послѣднія двѣ—ученію объ электричествѣ; въ нихъ исходя изъ закона сохраненія энергіи, Гельмгольцъ выводитъ уравненія Неймана и Вебера. Когда онъ писалъ статью «О сохраненіи энергіи», онъ не зналъ о предшествовавшихъ ему работахъ Майера, касавшихся механическ. эквивалента тепла, но впослѣдствіи самъ указалъ на заслуги своихъ предшественниковъ. До сихъ поръ его работа считается классической *); въ ней мы чувствуемъ уже силу генія Гельмгольца—философа и физика.

Въ 1848 году молодой ученый занялъ мѣсто преподавателя анатоміи въ академіи художествъ въ Берлинѣ, мѣсто, съ котораго ушелъ знаменитый Брюке; но уже черезъ два года его призвали въ Кенигсбергъ на каѳедру физіологіи и общей патологіи. «На общую патологію, пишетъ Гельмгольцъ, смотрѣли тогда, какъ на цвѣтъ медицинской науки. Но то, что тогда составляло ея главное содержаніе, для послѣдователей теперешней науки имѣетъ лишь историческій интересъ». Гельмгольцъ, врагъ дедуктивной методы, тормозившей даже тогда еще безплодными выводами изъ произвольныхъ положеній весь строй естественныхъ наукъ, внесъ своими экспериментальными работами живую струю въ науку. Многіе профессора физіологіи считали тогда ниже своего достоинства заниматься опытными изслѣдованіями. Гельмгольцъ же говоритъ: «Фактъ или заключеніе, выведенныя даже наиболѣе точными и логичными методами изъ сомнительнаго положенія, не придадутъ ему ни малѣйшей доли достовѣрности, ни даже значенія... долгъ всякаго научнаго изслѣдованія состоитъ въ розысканіи законовъ, управляющихъ разрозненными фактами». И какъ бы въ подтвержденіе своихъ словъ, Гельмгольцъ въ томъ же году удивилъ ученый міръ своими измѣреніями продолжительности мышечныхъ сокращеній и скорости передачи нервныхъ импульсовъ. Это была смѣлая попытка; только 6 лѣтъ раньше его учитель Іоганнъ Мюллеръ писалъ въ своемъ руководствѣ физіологіи, что нервные стимулы передаются безконечно быстро; въ 1845 году Дюбуа-Раймонъ предложилъ способъ для измѣренія скорости передачи, но не рѣшился его примѣнить къ опыту; пять лѣтъ позже (1850) Гельмгольцъ, по способу Пульє, усовершенствованному имъ самимъ и сдѣланному самозаписывающимъ, измѣрилъ скорость передачи нервной дѣятельности у лягушки и нашелъ ее равной 26,4 м. въ секунду, т.-е. приблизительно въ десять разъ болѣе медленной, чѣмъ скорость звука въ воздухѣ. Десять лѣтъ спустя онъ вмѣстѣ съ ученикомъ своимъ Бакстеромъ измѣрилъ ту же скорость у человѣка и нашелъ ее равной приблизительно 60 м. въ секунду. Слѣдующіе годы Гельмгольцъ посвятилъ въ особенности разработкѣ физіологіи чувствъ, этотъ отдѣлъ науки наиболѣе соотвѣтствовалъ его уму естествоиспытателя-философа. Уже въ 1851 г. работы по оптикѣ глаза привели его къ одному изъ наиболѣе плодотворныхъ и полезныхъ человѣчеству изобрѣтеній; именно изобрѣтенію офтальмоскопа; правда, Брюке и Кемингъ еще въ 1847 году указали на возможность освѣтить внутренность глаза, но они не пошли дальше теоретическихъ соображеній. Съ изобрѣтеніемъ офтальмоскопа ученіе о глазныхъ болѣзняхъ сдѣлалось наукой, такъ какъ сдѣлались видимыми, осязаемыми нашими чувствами патологическія измѣненія внутренности глаза; теперь уже считывается, вѣроятно, тысячами тѣ, которымъ этотъ чудесный инструментъ спасъ зрѣніе. За этимъ изобрѣтеніемъ Гельмгольцъ создалъ міографъ и офтальмометръ; благодаря этому послѣднему прибору, удалось ему рѣшить интересный вопросъ объ аккомодаціи глазъ (1853), вопросъ, занимавшій

*) Замѣтимъ, что года два тому назадъ это сочиненіе вышло новымъ изданіемъ, подъ редакціей самаго Гельмгольца первымъ въ числѣ другихъ классическихъ работъ, издаваемыхъ проф. Оствальдомъ въ Лейпцигѣ подъ заглавіемъ «Die Klassiker der exakten Wissenschaften». Цѣна ему 40 коп.

временъ Кеплера многихъ великихъ физиковъ и физіо-
овъ. Въ 1855 году, пріобрѣвшій уже большую извѣстность
ный былъ приглашенъ на каѳедру анатоміи и физіоло-
въ Боннъ, гдѣ онъ и продолжалъ ревностно заниматься
дованіями по физіологической оптикѣ. Основываясь на
ной почти забытой идеѣ Томаса Юнга, онъ разработалъ
свою остроумную теорію видимости цвѣтовъ, извѣст-
подъ именемъ теоріи Юнгъ-Гельмгольца. По этой тео-
каждая точка сѣтчатки представляетъ окончаніе трехъ
рвныхъ волоконъ, воспріимчивыхъ къ свѣтовымъ коле-
іямъ различныхъ длинъ волнъ; одни нервы болѣе воз-
даются красными, другіе зелеными, третьи фіолетовыми
ами. Безконечное множество существующихъ въ при-
цвѣтовъ и оттѣнковъ воспринимаются нашимъ глазомъ,
сумма трехъ впечатлѣній, могущихъ безконечно варьи-
вать въ отношеніи своей интенсивности въ зависимости
состава смѣшаннаго луча, воспринимаемаго глазомъ.
теорія подтверждается многими опытами, сдѣланными
льмгольцомъ и его учениками; она также весьма удачно
ясняетъ сложныя явленія цвѣтовыхъ тѣней, контраст-
ыхъ и дополнительныхъ цвѣтовъ. Величественное зданіе
ихъ работъ по оптикѣ Гельмгольцъ увѣнчалъ психологи-
кимъ изслѣдованіемъ связи, существующей между нерв-
ыми воспріятіями и вызываемыми ими въ насъ представ-
ніями; исходя изъ основъ Канта, онъ самостоятельно и
зависимо доходитъ до положеній, часть которыхъ уже
ла высказана Шопенгауеромъ. Въ 1858 году Гейдель-
ргскій университетъ предлагаетъ ему мѣсто профессора
зіологіи; здѣсь онъ собираетъ и группируетъ свои работы
оптикѣ и издаетъ ихъ въ своемъ классическомъ сочине-
«Handbuch der Physiologis hen Optik» (Лейпцигъ
59—1866), въ которомъ каждая страница свидѣтель-
уетъ о геніальности и трудолюбіи автора.

Знатокъ и любитель музыки, Гельмгольцъ еще въ Боннѣ
думывался надъ вопросами философіи и физической теоріи
го искусства. На публичной лекціи въ Боннѣ въ 1857 году
«Физіологической причинѣ музыкальной гармоніи» Гельм-
льцъ впервые изложилъ основы, послужившія краеуголь-
нымъ камнемъ его «Теоріи звуковыхъ впечатлѣній». Зву-
выя волны по Гельмгольцу разлагаются нашимъ ухомъ
составныя части и сумма возбужденныхъ ими нервныхъ
пульсовъ обусловливаетъ впечатлѣніе, получаемое нами
звука. Въ ухѣ у барабанной перепонки Гельмгольцъ
залъ на резонансовый аппаратъ изъ нервныхъ оконча-
, анализирующій звукъ и передающій его дальше такъ
, какъ открытый рояль расчленяетъ пропѣтый надъ нимъ
къ и резонируетъ на него отдѣльными своими струнами.
другія таинственныя явленія звуковаго воспріятія—
фонія, диссонансъ, разность въ тембрахъ были разсмо-
ны и объяснены остроумнымъ изслѣдователемъ. Изучивъ
спріятіе звука, неутомимый ученый заинтересовался во-
сомъ о человѣческой рѣчи и доказалъ, что разность
жду гласными рѣчи заключается только въ разницѣ ин-
сивности высшихъ гармоническихъ тоновъ; когда мы
зносимъ гласную, то измѣняемъ форму рта такъ, что
какъ разъ резонируетъ на тотъ высшій гармоническій
нъ, который характеризуетъ данную гласную. Постро-
рядъ металлическихъ шаровъ-резонаторовъ, выдѣляю-
изъ самаго сложнаго звуковаго комплекса отвѣчаю-
имъ тонъ, Гельмгольцъ приступилъ къ смѣлой задачѣ
тетическаго возсозданія гласныхъ. Рядъ камертоновъ,
ктрически возбуждаемыхъ, снабженныхъ резонаторами,
вчалъ всевозможнымъ тонамъ, изъ которыхъ создаются
ныя; подбирая ихъ въ извѣстномъ порядкѣ, изслѣдова-
удалось рѣшить эту трудную задачу. Странное совпа-
—въ большомъ зданіи, въ первомъ этажѣ котораго
льмгольцъ синтезомъ изъ составныхъ частей возсозда-
загадочное явленіе рѣчи, во второмъ этажѣ Кирх-
ъ и Бунзенъ разлагали солнечный лучъ и создавали
ую науку—спектральный анализъ; синтетическій и ана-
ическій методъ изслѣдованія одновременно праздновали
ду. Какъ и работы свои по оптикѣ, Гельмгольцъ и эти
дованія объединилъ въ цѣлое въ своемъ сочиненіи «Die
re von den Tonempfindungen» (Брауншвейгъ 1862) *).

Одновременно съ этимъ Гельмгольцъ математически и опытно изслѣдовалъ механизмъ воздушныхъ колебаній; результатомъ этихъ работъ явилось аналитическое рѣшеніе нѣкоторыхъ общихъ гидродинамическихъ задачъ, противостоявшихъ до тѣхъ поръ усиліямъ математиковъ; можетъ быть, что и на теорію гласныхъ его навели эти работы. Къ тому же времени относятся и изслѣдованія, относящіяся къ психофизическимъ и философскимъ вопросамъ, связаннымъ съ познаваніемъ нашими чувствами всего окружающаго; большинство ихъ собрано въ его «Gesammelte Abhandlungen» (2 тома) и «Populäre Vorträge».

Въ 1871 году скончался Магнусъ, профессоръ физики берлинскаго университета, извѣстный своими работами по теплотѣ, и на каѳедру физики приглашенъ былъ Гельмгольцъ. Со времени вступленія на эту должность онъ посвящаетъ себя исключительно физикѣ, развитію которой и служилъ съ тѣхъ поръ двояко: какъ собственными безсмертными работами, такъ и созданіемъ цѣлой школы своихъ учениковъ, распространившихъ духъ его школы и научныя стремленія ея по всему міру. Главныя области, въ которыхъ онъ работаетъ въ этотъ «физическій» періодъ его дѣятельности—это электричество и гидродинамика. Какъ разъ въ это время ученый міръ былъ занятъ любопытнымъ обсужденіемъ основъ электродинамики; идеи Фарадэя, нынѣ общепринятыя, хотя и были извѣстны, но пользовались малою популярностью. Знаменитый В. Веберъ пытался объяснить всѣ дѣйствія токовъ на токи и магниты предположеніемъ существованія особенныхъ силъ, дѣйствующихъ между частицами гипотетическихъ электрическихъ и магнитныхъ жидкостей, силъ, зависящихъ не только отъ разстояній между частицами, но и отъ ихъ скоростей и ускореній. Теорія эта тогда первенствовала, но подвергалась уже и серьезной критикѣ со стороны такихъ ученыхъ, какъ Риманъ и Клаузіусъ. Гельмгольцъ принималъ дѣятельное участіе въ горячихъ научныхъ спорахъ по поводу этихъ вопросовъ. Очертивъ собственную теорію электродинамики *), онъ взглянулъ на этотъ спорный вопросъ съ присущей ему и характеризующей его ясностью, начавъ пріискивать рѣшительный опытъ — experimentum crucis — могущій рѣшить, какой теоріи, Фарадэевой ли, разработанной потомъ Максвеллемъ теоріи натяженій или Веберовой теоріи жидкостей слѣдуетъ отдать предпочтеніе. Опыты надъ электризаціей проводниковъ, вращающихся въ магнитномъ полѣ, убѣдили его въ томъ, что идеи Фарадэя ближе объясняютъ таинственный механизмъ электрическихъ дѣйствій. Другая великая задача, надъ которой трудился Фарадэй—связь между электрическими и химическими силами—заинтересовала и Гельмгольца и послужила исходнымъ пунктомъ многихъ изслѣдованій, внесшихъ совершенно новые факты и понятія въ область физической химіи. Онъ обобщилъ и иначе формулировалъ законъ Фарадэя и, основываясь на термодинамическихъ законахъ, разъяснилъ роль воды и растворенныхъ солей въ гальваническихъ элементахъ и вліяніе ихъ на электровозбудительную силу. Наведенный этими работами на теорію термодинамики химическихъ процессовъ, онъ изслѣдовалъ ее и рѣшилъ наиболѣе общій ея вопросъ—какая часть заключенной въ какой-либо системѣ полной энергіи можетъ превратиться въ другую форму ея (1882). И механику эѳира онъ не оставилъ безъ вниманія—въ изящной работѣ «О теоріи аномальной дисперсіи», обнародованной въ 1884 году, онъ указалъ на явленія, вызываемыя силами взаимодѣйствія между матеріальными частицами и частицами эѳира.

Еще въ 1879 году Гельмгольцъ, изслѣдуя вихревыя движенія жидкостей и движеніе чрезвычайно тонкихъ жидкихъ струй «нитей теченія» въ предположеніи, что къ нимъ примѣнимы законы тренія твердыхъ тѣлъ, пришелъ къ замѣчательнымъ аналогіямъ между электромагнитными дѣйствіями и указанными явленіями и тѣмъ прибавилъ еще одну связь къ родственнымъ наукамъ электро- и гидродинамики. Онъ также внесъ въ науку понятіе объ «электрической конвекціи» или переносѣ электричества движеніемъ матеріальныхъ частицъ (1876), и разбирая дѣйствіе пондеромоторныхъ силъ на электрически и магнитно-поляризо-

*) Это сочиненіе существуетъ и на русскомъ языкѣ въ переводѣ Пѣтухова подъ заглавіемъ «Ученіе о звуковыхъ впечатлѣніяхъ».

*) Разбору этой теоріи и полной оцѣнкѣ ея посвящена часть новаго сочиненія французскаго ученаго Пуанкаре (Poincaré. Electricité et Optique).

ванныя тѣла, основываясь на одномъ только законѣ сохраненія энергіи, показалъ возможность существованія Фарадэевой гипотетической системы, въ которой натяженія дѣйствуютъ по направленію линіи силъ, а давленія подъ прямымъ угломъ къ нимъ (1887). Чистую механику онъ обогатилъ въ это время прекраснымъ изслѣдованіемъ надъ статикой моноциклическихъ системъ, въ которую внесъ новое понятіе о «кинематической связи»; въ другомъ изслѣдованіи неутомимый ученый указываетъ на принципъ наименьшаго дѣйствія, какъ на общій законъ, управляющій всѣми обратимыми явленіями въ природѣ.

Послѣднія работы Гельмгольца относятся къ теоретической химіи и къ гидродинамикѣ въ приложеніи къ метеорологическимъ явленіямъ. Въ 1858 году еще онъ математически изслѣдовалъ вихревыя движенія жидкости и подтвердилъ свои выводы опытами. Позже, въ 1875 году онъ приложилъ эти выводы къ объясненію механическихъ зависимостей вѣтровъ и дѣйствія однихъ изъ нихъ на другіе. Далѣе (1888) онъ далъ математическое изслѣдованіе движеній въ атмосферѣ. Исходя изъ Эйлеровыхъ гидродинамическихъ дифференціальныхъ уравненій, онъ показалъ, что главное сопротивленіе движенію атмосферныхъ потоковъ представляетъ не треніе ихъ о поверхность земли, а процессы смѣшиванія различно-движущихся слоевъ воздуха, приводящія къ образованію вихрей. Недавно (1890) онъ опубликовалъ въ журналѣ «Wiedemanns Annalen der Physik» изслѣдованіе «Объ энергіи вѣтра и волнъ», въ которомъ съ большимъ остроуміемъ математически разсмотрѣлъ столь неуловимыя явленія, какъ тѣ, которыя вызываются вѣтромъ, проносящимся надъ водной поверхностью. Онъ показалъ, что продолжительный вѣтеръ при помощи нижнихъ слоевъ воздуха мало по малу отдаетъ часть своей энергіи водной поверхности, подъ нимъ находящейся, и что этотъ переходъ энергіи длится до тѣхъ поръ, пока скорость вѣтра больше скорости воды. Образующіяся при этомъ системы волнъ различныхъ длинъ сталкиваются и интерферируютъ, и подобно тому какъ воздушныя звуковыя волны ведутъ къ образованію комбинаціонныхъ тоновъ, такъ и онѣ своимъ взаимодѣйствіемъ образуютъ большія волны, могущія достичь громадной длины и скорости. Эти свои выводы Гельмгольцъ подтвердилъ личными наблюденіями надъ морскими волнами на берегу Антибскаго мыса *).

Съ 1871 года Гельмгольцъ управлялъ Берлинской университетской физической лабораторіей, первой по времени основанія въ Европѣ; въ 1874 году, благодаря его стараніямъ, германское правительство построило для физическаго института новое образцовое зданіе-дворецъ, стоившее до 3 милліоновъ рублей. Здѣсь подъ его руководствомъ работали нынѣ извѣстные молодые физики Европы—почти всѣ его ученики. Изъ русскихъ, работавшихъ въ его институтѣ, укажемъ на профессоровъ И. Гезехуса (Петербургъ) А. Соколова (Москва), П. Зилова (Варшава), Н. Шиллера (Кіевъ), Колли (Москва) и др. Неутомимо работаетъ Гельмгольцъ въ своемъ институтѣ до 1888 года; въ это время открылся построенный германскимъ правительствомъ на деньги (500 тысячъ марокъ), пожертвованныя извѣстнымъ электротехникомъ Вернеромъ Сименсомъ, въ Шарлоттенбургѣ около Берлина правительственный техно-физическій институтъ «Physikalisch-technische Reichsanstalt». Это учрежденіе, единственное въ своемъ родѣ, раздѣляется на два отдѣла: одинъ отдѣлъ чисто-научныхъ работъ снабженъ всѣмъ тѣмъ, что человѣческій умъ создалъ лучшаго и совершеннаго изъ научныхъ инструментовъ и предназначенъ для выполненія сложныхъ физическихъ изслѣдованій; другой отдѣлъ техно-физическій занимается разработкой техническихъ методовъ изслѣдованія и стремится новѣйшія побѣды науки сдѣлать полезными для промышленности. Не естественно-ли, что не могъ найтись человѣкъ, болѣе подходящій для управленія подобнымъ учрежденіемъ, чѣмъ Гельмгольцъ? Съ 1888 года онъ и покидаетъ университетскій физическій институтъ и передаетъ его извѣстному страсбургскому профессору Кундту; самъ же, продолжая читать въ университетѣ лекціи по теоретической физикѣ, принимаетъ мѣсто директора новаго правительственнаго учрежденія.

*) Рефератъ этой послѣдней работы на русскомъ языкѣ помѣщенъ въ первой книжкѣ Журнала Русскаго Физико-Химическаго Общества за нынѣшній годъ.

Германъ фонъ-Гельмгольцъ женатъ вторымъ бракомъ на дочери извѣстнаго депутата Роберта фонъ-Моля, талантливой писательницѣ, и музыкантшѣ. Въ 1883 году императоръ Вильгельмъ въ виду его большихъ заслугъ даровалъ ему дворянское достоинство. Единственный сынъ его Робертъ, подававшій блестящія надежды, шелъ по стопамъ отца, но скончался совершенно молодымъ еще, оставивъ посмертную работу о лучеиспусканіи пламени, удостоенную преміи.

Теперь знаменитый ученый, старецъ по лѣтамъ, но юноша по бодрости и свѣжести ума, празднуетъ семидесятилѣтнюю годовщину своего рожденія. Весь ученый міръ готовится необыкновенными почестями ознаменовать это событіе, но, какъ справедливо прибавляетъ проф. Столѣтовъ въ своей горячей статьѣ о Гельмгольцѣ *) «эти почести ничего не прибавятъ къ блеску его имени». Зимою нынѣшняго года образовался интернаціональный комитетъ для организаціи юбилейнаго празднества—рѣшено на собранныя деньги сдѣлать бюстъ юбиляра и основать фондъ для выдачи медали имени Гельмгольца авторамъ лучшихъ работъ по отдѣламъ наукъ, которыми занимался Германъ фонъ-Гельмгольцъ.

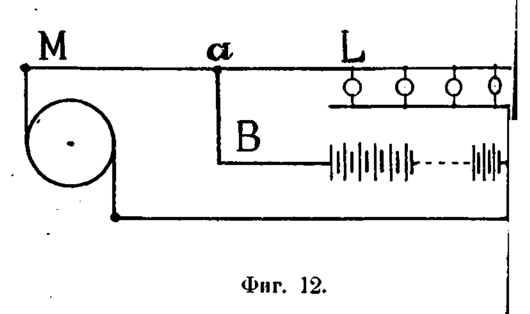
Мы не нашли бы конца нашей замѣткѣ, если бы пожелали изложить все то новое, что внесъ Гельмгольцъ въ науку, вкратцѣ хотя бы очертить тѣ оригинальныя идеи, которыя сдѣлались исходными точками цѣлыхъ отдѣловъ наукъ. Своими научными трудами онъ уже воздвигнулъ себѣ памятникъ «превыше пирамидъ», и будущіе годы, безъ сомнѣнія, прибавятъ еще новыя блестящія страницы въ исторію его научныхъ побѣдъ. Другой памятникъ воздвигъ онъ въ сердцахъ своихъ учениковъ своей воодушевленною рѣчью, своей отзывчивостью ко всему, что прекрасно въ наукѣ, поэзіи и искусствахъ. Человѣчеству онъ всегда останется образцемъ великаго ученаго, учителя и человѣка.

Задачи по электротехникѣ.

Мѣсто для амметра

на установкѣ со вторичными элементами.

Задача 89-я. Отъ динамомашины (фиг. 12) токъ направляется по проводнику $M\ a$. Въ точкѣ a токъ развѣтвляется. По проводнику B идетъ токъ для заряда аккумуляторовъ и въ тоже время по проводнику $a\ L$ идетъ токъ къ лампамъ. Включить въ точкѣ a амметръ A такимъ образомъ, чтобы на немъ можно было, при посредствѣ коммутаціи и не производя перерыва тока, измѣрить:



Фиг. 12.

1) весь токъ, посылаемый динамомашиной въ точку a,

2) токъ, идущій по B только для заряда аккумуляторовъ,

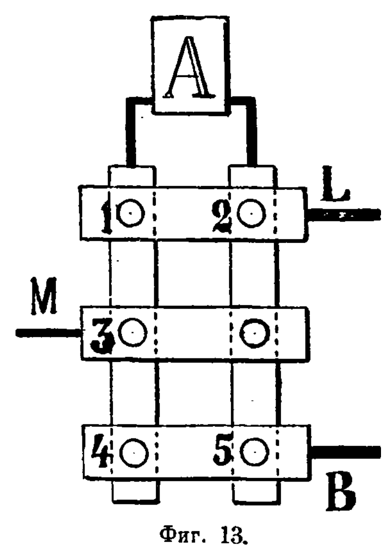
3) токъ, идущій отъ динамомашины въ освѣщеніе по направленію $a\ L$, и

4) токъ идущій во время разряда отъ баттареи B въ лампы L. Кромѣ того необходимо, чтобы во время стоянія динамомашины и во время разряда аккумуляторовъ, вообще всегда, когда угодно можно было

5) выключить амметръ изъ цѣпи.

*) Вѣстникъ Европы, Іюнь. 1891.

...ніе: Включимъ въ точкѣ *a* швейцарскій коммута-
...ставленный и соединенный съ концами проводни-



Фиг. 13.

...ъ, какъ показано на фигурѣ 13. Вставляя штепселя для:

1-го случая	. . .	2, 3 и 5
2-го »	. . .	1, 3 » 5
3-го »	. . .	2, 3 » 4
4-го »	. . .	2 и 4, или 1 и 5
5-го »	. . .	1, 2, 4 и 5,

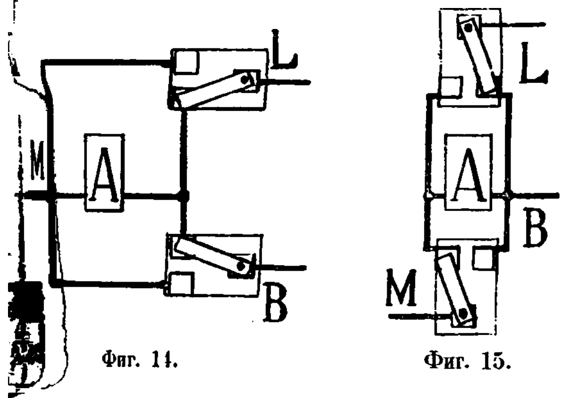
...аемъ совершенно удовлетворительное рѣшеніе.

Примѣчанія: 1) Вопросъ, поставленный въ настоящей ...ѣ, разбирается всякій разъ при установкѣ аккумуля-...ъ и не смотря на его простоту онъ заслуживаетъ ...бнаго изученія.

2) Во всякомъ случаѣ по линіи *M a* или у другаго ...са динамомашины (фиг. 13) предполагается автомати-...кій размыкатель.

3) Швейцарскій коммутаторъ требуетъ точной сборки, ...ствіе чего онъ дорогъ и для сильныхъ токовъ онъ ... испытанъ.

4) Задача рѣшается удобопонятно и вполнѣ посред-...мъ двухъ коммутаторовъ на два направленія, какъ по-...но на схемѣ фигуры 14.



Фиг. 14. Фиг. 15.

На фигурѣ 15 показанъ случай подобнаго же соеди-... въ которомъ разрядъ идетъ только по одному изъ ... коммутаторовъ.

На фигурѣ 16 представлена схема съ однимъ комму-...мъ на два направленія. Она не даетъ полнаго рѣ-... но на практикѣ можемъ ее считать удовлетвори-...ю.

...) Для сильныхъ токовъ предлагаю слѣдующее общее ...іе. Представимъ себѣ 10 болтовъ, укрѣпленныхъ на ... и соединенныхъ, какъ показано на фигурѣ 17. На бол-... 4, 5, 6, 9 и 10 висятъ поворотные плоскіе крючки, ...оторыхъ одинъ представленъ на фигурѣ 18. Повора-чивая крючекъ, напримѣръ, около болта 4, мы можемъ соединить болтъ 4 съ болтомъ 1.

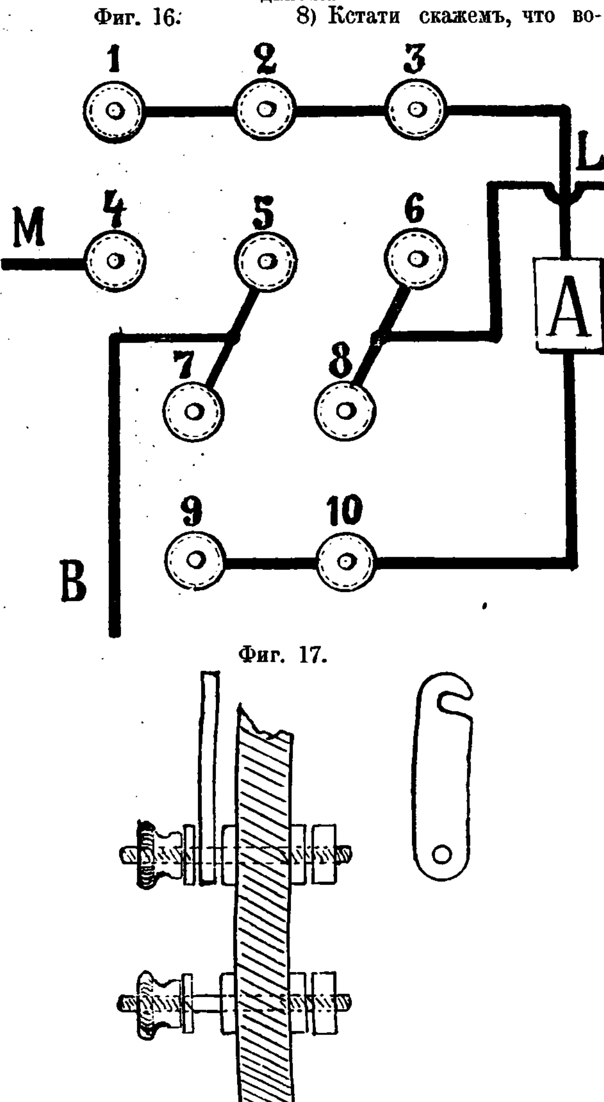
При этомъ способѣ получимъ для нашей задачи слѣдующія соединенія:

1) 4 и 1, 9 и 7, 10 и 8
2) 4 » 1, 6 » 3, 9 » 7
3) 4 » 1, 5 » 2, 10 » 8
4) 9 » 7, 6 » 3, или 5 » 2, 10 и 8
5) 9 » 7, 5 и 2. 10 и 8, 6 » 3.

Фиг. 16.

Въ виду того, что подобная доска съ 10-ю болтами не требуетъ особенной точности при сборкѣ, и что соединенія между болтами, за исключеніемъ соединеніи крючками, могутъ быть сдѣланы подъ доской, такая коммутація оказалась бы практичной и пришлась бы дешевле другихъ вышеизложенныхъ соединеній.

8) Кстати скажемъ, что во-



Фиг. 17.

Фиг. 18.

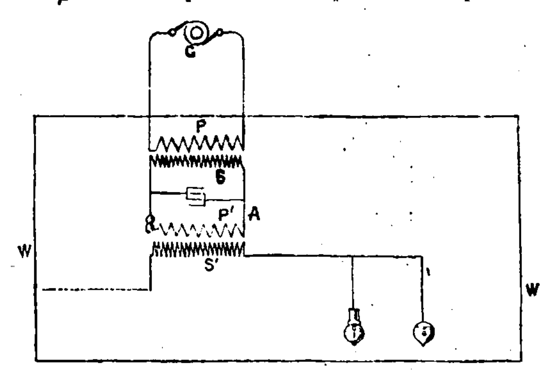
время заряда аккумуляторовъ амметръ долженъ всегда находиться въ цѣпи на глазахъ у машиниста. Во время разряда амметромъ можно пользоваться при провѣркѣ, но нѣтъ надобности оставлять его въ цѣпи въ то время, когда за нимъ никто не наблюдаетъ.

Ч. Скржинскій.

ОБЗОРЪ НОВОСТЕЙ.

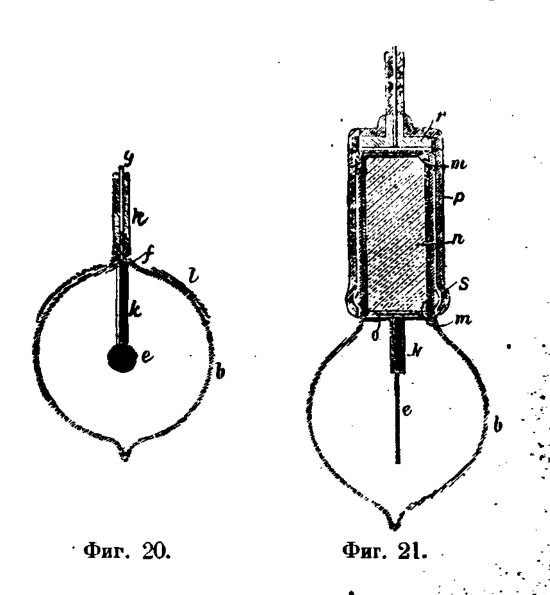
Новая система электрическаго освѣщенія. Американскій инженеръ Тесла, любопытные опыты котораго съ перемѣнными токами высокаго напряженія были описаны нами на стр. 173 нашего журнала, предложилъ недавно совершенно новый и оригинальный способъ электрическаго освѣщенія. Тесла замѣтилъ, что если соединить лампу каленія съ *одной* только проволокой, идущей отъ машины или трансформатора, дающихъ токи весьма высокаго напряженія, то уголекъ накаливается и лампа начинаетъ свѣтить. Свѣченіе значительно усиливается, если лампу снабдить внѣшней проводящей обкладкой (напр., изъ листочка станіоля), и эту послѣднюю соединить съ другимъ проводомъ отъ машины; такая лампа представляетъ конденсаторъ, внутренней обкладкой котораго является уголекъ. Довольно хорошіе результаты достигаются уже при токахъ въ 20.000 вольтъ съ 15—20 тысячами перемѣнъ въ секунду, хотя это не есть практическій предѣлъ; какъ напряженіе, такъ и число перемѣнъ направленія тока въ одну секунду могутъ быть значительно повышены. Для промышленной эксплоатаціи подобной системы освѣщенія слѣдуетъ, очевидно, раньше всего найти удобный путь добыванія подобныхъ токовъ.

Какъ мы уже указали въ вышеупомянутой замѣткѣ, Тесла построилъ нѣсколько машинъ, дающихъ даже до 40.000 перемѣнъ тока въ секунду, но онѣ оказались мало практичными. Въ описываемой нами системѣ Тесла воспользовался свойствами конденсатора давать при разрядѣ въ видѣ искры токи высокаго напряженія и громаднаго числа перемѣнъ направленія. На фиг. 19 изображена схе-



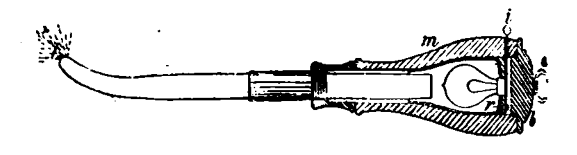
Фиг. 19.

ма распредѣленія приборовъ и лампъ Тесла. Обыкновенная динамомашина G даетъ токъ небольшаго числа перемѣнъ и невысокаго напряженія, который, проходя черезъ первичную обмотку P трансформатора, вызываетъ во вторичной обмоткѣ S перемѣнный токъ высокаго напряженія, заряжающій конденсаторъ A. Конденсаторъ замыкается воздушнымъ путемъ между двумя шариками, черезъ которые по мѣрѣ заряженія конденсатора, онъ и разряжается въ видѣ ряда искръ. Такой разрядъ вызываетъ колебательные токи высокаго напряженія; чтобы повысить еще напряженіе въ цѣпь конденсатора введена первичная обмотка второго трансформатора P', во вторичной тонкой обмоткѣ котораго и возбуждаются тѣ токи, которые необходимы системѣ Тесла. Лампы присоединяются, какъ изображено на фиг. 19, къ проволокѣ, ведущей отъ одного изъ концовъ вторичной обмотки. Другой конецъ можетъ быть изолированъ или присоединенъ къ землѣ (стѣны комнаты). Лампы могутъ быть обыкновенныя, но Тесла предпочитаетъ особенныя лампы, изображенныя на фиг. 20. Онѣ состоятъ изъ стекляннаго шарика b съ весьма совершенной пустотой, въ который впаяна угольная палочка k съ шарикомъ e на концѣ. Уголь въ точкѣ f скрѣпляется съ проволокой g, покрытой изолирующимъ веществомъ h. Уголекъ до шарика e покрытъ тоже какимъ-либо огнеупорнымъ изоляторомъ (каолиномъ). Такія лампы прямо присоединяются къ проводнику, ведущему отъ вторичной обмотки трансформатора. Тесла предложилъ еще другія лампы, въ которыхъ уголекъ вовсе не соединенъ съ проводомъ. Подобная лампа изображена на фиг. 21. Угольный стержень e соединенъ съ металлической цилиндрической обкладкой, которая изоляторомъ S отдѣляется отъ другой внѣшней обкладки p, соединяющейся съ проводомъ; такая лампа представляетъ конденсаторъ, въ которомъ уголекъ — часть внутренней обкладки. (Electrician).



Фиг. 20. Фиг. 21.

Освѣтительный аппаратъ для медицинскихъ цѣлей. На фиг. 22 изображенъ любопытный приборъ, предложенный въ Парижѣ Михаелсомъ и предназначенный для



Фиг. 22.

освѣщенія съ медицинской цѣлью рта, носа, ушей и другихъ полостей человѣческаго тѣла. Онъ основанъ на извѣстномъ принципѣ свѣтящихся фонтановъ, въ которыхъ струя воды, освѣщенная снизу, благодаря полному внутреннему отраженію свѣта отъ внутренней поверхности ея, проводила свѣтъ до самой вершины струи и лишь разбиваясь на капли давала извѣстные магическіе свѣтовые эффекты. Въ ручкѣ m прибора помѣщена лампа каленія, соединенная выходящими наружу проводами i съ небольшой динамо, приводимой въ движеніе ногой и регулируемой реостатомъ. Свѣтъ лампы отражается параболическимъ зеркаломъ V и направляется въ стеклянный полированный стержень t, по которому и проходитъ, не выходя изъ него до конца l, отшлифованнаго полушаромъ, изъ котораго выходитъ въ видѣ яркаго пучка. Стеклянный стержень можно сдѣлать довольно длиннымъ и сгибать его въ произвольную форму и тѣмъ дать возможность ярко освѣтить болѣе глубокія полости. Къ этому прибору приспособлена также небольшая переносная батарея съ хромовой кислотой. (Electricité).

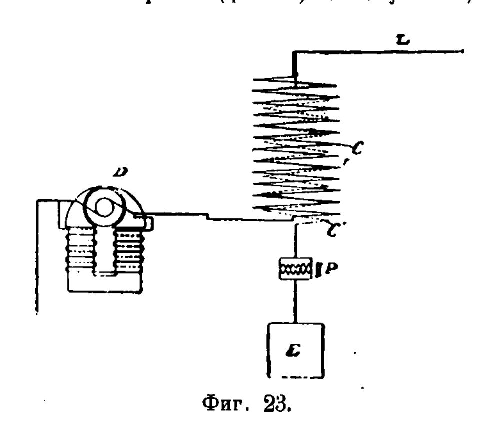
Простой вольтовъ столбъ. Новый и простой видъ вольтова столба, изобрѣтенный въ Италіи, описанъ въ лондонскомъ журналѣ «Electrical Engineer». Онъ состоитъ изъ ряда конусообразныхъ сосудовъ изъ чугуна и пористой глины, смоченныхъ азотной и сѣрной кислотой. Построеніе столба слѣдующее: чугунный конусъ закрѣпляется остріемъ внизъ въ деревянной рамкѣ и наполняется немного крѣпкой азотной кислотой. Въ него вставляютъ глиняный конусъ, содержащій разбавленную сѣрную кислоту; затѣмъ слѣдуетъ опять чугунный конусъ, въ него глиняный и т. д. далѣе, причемъ чугунные и глиняные конусы наливаются соотвѣтственно азотной и сѣрной кислотой. Такимъ об-

тѣмъ, внутренняя поверхность каждаго чугуннаго конуса смочена азотной кислотой, и вслѣдствіе этого дѣлается пассивной (нерастворимой), и играетъ въ столбѣ ту же роль, что уголь, или платина въ обыкновенномъ элементѣ. Внѣшняя поверхность разъѣдается сѣрной кислотой и играетъ роль цинка. Соединеній никакихъ дѣлать не нужно, такъ какъ само составленіе столба уже соединяетъ всѣ части. Чугунные конусы имѣютъ 20 см. діаметромъ и 10 см. вышины, и содержатъ 550 куб. см. 10% раствора сѣрной кислоты. Чугунные сосуды содержатъ 110 к. с. смѣси азотной и сѣрной кислоты въ отношеніи 1 : 3. Подобный столбъ изъ 60 элементовъ, расположенныхъ въ два ряда, имѣлъ сопротивленіе въ 10,5 омовъ, электровозбудительную силу *при незамкнутой цѣпи въ 81 вольтъ, при замкнутой въ* 35 вольтъ при 4,4 амперахъ.

Черезъ пять часовъ напряженіе упало до 28 вольтъ, токъ до 2,7 ампера.

(Elektrotechnische Zeitschrift).

Усовершенствованія въ громоотводахъ. Елигю Томсонъ придумалъ недавно остроумное приспособленіе для громоотводовъ у динамомашинъ, примѣнимое какъ къ установкамъ съ постояннымъ, такъ и съ перемѣнными токами. Оно состоитъ главнымъ образомъ (фиг. 23) изъ катушки C', соеди-



Фиг. 23.

няющей обыкновенный громоотводъ P съ линіей r. Катушка эта помѣщена внутри другой большей C, соединенной съ одной стороны съ машиной, съ другой же стороны примыкающей вмѣстѣ съ первой катушкой къ линіи. Обѣ катушки хорошо изолированы другъ отъ друга. Дѣйствіе этого приспособленія слѣдующее: когда молнія или какой-либо другой статическій разрядъ ударитъ въ линію, то онъ пройдетъ въ землю раньше по внутренней катушкѣ C', обладающей меньшей самоиндукціей; этотъ разрядъ возбудитъ во внѣшней катушкѣ, соединенной съ машиной, противоэлектровозбудительную силу, которая не допуститъ разрядъ пройти сквозь C' въ машину и сжечь ея обмотку. Для предупрежденія образованія вольтовой дуги между зубцами обыкновеннаго громоотвода послѣ прохожденія удара молніи, Е. Томсонъ предлагаетъ шунтировать его небольшой вторичной баттареей для линіи съ постояннымъ токомъ, и катушкой съ большой самоиндукціей для линіи перемѣнныхъ токовъ. Оба эти устройства возбудятъ въ шунтѣ противоэлектровозбудительную силу, которая затушитъ дугу.

(Electrical Review).

БИБЛІОГРАФІЯ.

Electric transmission of energy and its transformation, subdivision and distribution. A practical handbook. By **Gisbert Kapp**. III edition, revised. London, Whittaker and C°, 1891.

Это сочиненіе Каппа признается капитальнымъ по данному предмету. Авторъ, компетентный инженеръ и свѣдущій ученый, отнесся къ своему труду весьма добросовѣстно и въ сравнительно небольшой книжкѣ далъ вполнѣ обстоятельное и научное изложеніе предмета, предназначая свое сочиненіе для практиковъ и вообще для лицъ, желающихъ познакомиться съ электрической механикой.

Онъ начинаетъ съ изложенія общихъ принциповъ и объясняетъ соотношенія между механической и электрической энергіей; отсюда переходитъ къ измѣреніямъ и передачѣ энергіи. Съ перваго взгляда можетъ показаться, что въ книгѣ слишкомъ много формулъ; но дѣйствительно авторъ даетъ только тѣ, которыя необходимы для техника, если только онъ пожелаетъ вести свое дѣло на основаніи вѣрныхъ принциповъ. Относительно динамо-машинъ приведены данныя только для нѣсколькихъ главныхъ типовъ. Авторъ выясняетъ обратимость динамомашинъ и указываетъ разницу въ условіяхъ въ динамомашинахъ и двигателяхъ. *Эта часть сочиненія посвящается спеціально электрической* передачѣ. Практическія свѣдѣнія весьма удачно скомбинированы съ теоретическими; такъ разсматриваются причины потерь въ машинахъ, излагаются формулы для нихъ, описываются различные типы электромагнитовъ и якорей и затѣмъ слѣдуетъ графическая теорія машинъ, которая, какъ извѣстно, объясняетъ соотношенія между различными важнѣйшими свойствами машинъ посредствомъ кривыхъ. Эта теорія излагается авторомъ весьма обстоятельно и составляетъ, можно сказать, самую важную часть сочиненія; какъ извѣстно, графически можно легко и быстро рѣшать такіе вопросы, которые при чисто математическихъ вычисленіяхъ привели бы къ очень сложнымъ формуламъ.

Далѣе авторъ знакомитъ съ системами электрической передачи энергіи въ зависимости отъ источника; здѣсь онъ, собственно говоря, и приступаетъ къ главному предмету своего сочиненія. Здѣсь опять теорія идетъ вмѣстѣ съ практикой. Весьма обстоятельно трактуется о проводахъ, разсчетѣ наивыгоднѣйшаго поперечнаго сѣченія, системахъ проводки, изоляціи воздушныхъ и подземныхъ проводовъ и пр.

Весьма интересны практическія сравненія полезнаго дѣйствія электрической передачи съ другими: гидравлической, пневматической и пр., и выводы отсюда.

Затѣмъ слѣдуетъ классификація и подробное описаніе (съ рисунками) многихъ образцовъ динамомашинъ; сочиненіе заканчивается разсмотрѣніемъ большаго числа случаевъ примѣненій электродвигателей.

Въ своемъ новомъ изданіи авторъ сдѣлалъ нѣкоторыя измѣненія соотвѣтственно съ прогрессомъ электротехники и кромѣ того ввелъ нѣсколько добавленій, увеличивъ немного объемъ сочиненія. Еще одно очень важное улучшеніе книги состоитъ въ томъ, что авторъ наконецъ ввелъ въ нее общепринятыя единицы десятичной системы.

Электрическая отливка металловъ, горнаго инженера Николая Славянова. С.-Петербургъ, 1891 г.

Небольшая брошюра эта (35 стр.) содержитъ весьма краткое изложеніе изобрѣтеннаго инженеромъ Славяновымъ способа электрической отливки и спайки металловъ съ помощью вольтовой дуги, и подробное (съ чертежами) описаніе около 50 работъ, совершенныхъ по этому способу. Электрическая отливка заключается главнымъ образомъ въ наливаніи расплавляемаго электрическимъ токомъ металла на часть поверхности металлическаго предмета, причемъ эта часть тоже расплавляется и весьма совершенно сливается съ наливаемымъ металломъ. Однимъ изъ электродовъ вольтовой дуги служитъ предметъ, на который металлъ наливается, другимъ—плавящійся стержень изъ наливаемаго металла. Вольтова дуга поддерживается автоматически при помощи особеннаго регулятора. Способъ этотъ весьма удачно примѣненъ изобрѣтателемъ ко многимъ чрезвычайно важнымъ въ механической починкѣ работамъ, какъ-то: къ заливанію пустотъ, трещинъ и сквозныхъ отверстій въ металлическихъ вещахъ, къ заливанію раковинъ въ чугунныхъ и мѣдныхъ отливкахъ, къ приливанію отломанныхъ частей и къ другимъ работамъ. Интересно также примѣненіе этого способа къ наливанію слоя одного металла на другой, напр., наливанія слоя бронзы на трущіяся поверхности для уменьшенія коэффиціента тренія, и къ обращенію бѣлаго твердаго чугуна, изъ котораго сдѣлана какая-либо вещь, мѣстами въ мягкій сѣрый. Преимущества этого способа очевидны: во-первыхъ, отлитый металлъ можетъ быть полученъ всегда чистый и не пережженный, и, во-вторыхъ, прочность соединенія не ме-

нѣе 100%, т. е. въ мѣстѣ сліянія вещь будетъ не менѣе прочна, чѣмъ въ остальныхъ своихъ частяхъ.

Электрическая отливка, очевидно, можетъ поэтому служить для успѣшной и весьма быстрой починки неудавшихся новыхъ и сломанныхъ старыхъ металлическихъ вещей, причемъ обойдется, за рѣдкими исключеніями, гораздо дешевле приготовленія новыхъ вещей.

Изобрѣтатель, горный инженеръ Славяновъ, работающій на Пермскихъ пушечныхъ заводахъ, приводитъ въ брошюркѣ любопытную вѣдомость работъ и цѣны ихъ, изъ которой слѣдуетъ, что на указанныхъ заводахъ прибыль, полученная за починку вещей, вполнѣ окупала расходы по устроенному на заводѣ электрическому освѣщенію, несмотря на то, что машины были заняты для работъ по отливкѣ не болѣе 15 часовъ въ мѣсяцъ. Въ приложенной «вѣдомости» описаны 52 отливки, между которыми есть выдающіяся интересныя работы. Такъ прилиты были къ зубчатому колесу нѣсколько зубцовъ, была спаяна кулисса отъ типографскаго станка, сломанная на три части, и при этомъ съ совершеннымъ сохраненіемъ размѣровъ; былъ облитъ бронзою ползунъ отъ поршневаго штока пилы, залиты громадныя трещины, приводившія въ негодность большія и дорого стоющія машинныя части. Весьма любопытна также одна работа, которую врядъ ли можно было бы произвести какимъ-либо другимъ путемъ: золотничная коробка большаго цилиндра пароходной машины была отлита съ большой раковиной на фланцѣ; чугунолитейный заводъ залилъ ее обыкновеннымъ способомъ перепусканіемъ жидкаго чугуна; но при этомъ расплавилась часть стѣнки коробки и чугунъ отбѣлился до того, что стало невозможнымъ просверлить отверстіе для золотничнаго штока. Съ помощью электрической отливки удалось, однако, размягчить чугунъ—обратить бѣлый въ сѣрый—и просверлить отверстіе.

Повидимому способъ электрической отливки инженера Славянова имѣетъ большую будущность и мы желаемъ изобрѣтателю всего лучшаго. Мы надѣемся, что вскорѣ будемъ въ состояніи дать болѣе подробныя свѣдѣнія по этому предмету; насколько мы слышали, сама отливка и образцы работъ будутъ, вѣроятно, показаны на предстоящей электрической выставкѣ.

РАЗНЫЯ ИЗВѢСТІЯ.

Газовые двигатели въ установкахъ электрическаго освѣщенія. — Приводимъ слѣдующія слова извѣстнаго инженера Витца изъ недавней замѣтки его въ Comptes Rendus. «Недавно мнѣ приходилось осматривать въ Лиллѣ установку электрическаго освѣщенія съ лампами каленія и дуговыми лампами, въ которой динамомашина приводилась въ движеніе газовымъ двигателемъ, и я былъ въ состояніи сравнить потребленіе газа въ двигателѣ съ тѣмъ количествомъ, которое потреблялось, когда зданіе освѣщалось газовыми регенеративными и обыкновенными горѣлками. Теперь 16 дуговыхъ и 71 16-свѣчныхъ лампъ каленія замѣняли 6 большихъ двойныхъ регенеративныхъ лампъ, 91 обыкновенныхъ газовыхъ лампъ и 19 рожковъ. При этомъ электрическія лампы давали на 15% болѣе свѣта, чѣмъ газовыя, въ чемъ я убѣдился, сдѣлавъ раньше и теперь фотометрическія наблюденія; кромѣ того свѣтъ ихъ былъ равномѣрнѣе распредѣленъ. При всемъ этомъ газовый двигатель потреблялъ всего 21.500 литровъ въ часъ (752 куб. ф.), между тѣмъ какъ газовыя лампы сжигали въ часъ 26.500 литровъ (927 куб. ф.). Итакъ, если мы пользуемся газомъ, какъ двигательной силой для динамо, дающей токъ электрическимъ лампамъ, то мы потребляемъ 17% менѣе газа, чѣмъ если бы мы прямо его сжигали въ горѣлкахъ, и кромѣ того имѣемъ значительно болѣе свѣта».

Алюминіевый пароходъ.—На Цюрихскомъ озерѣ произведены были недавно любопытные опыты съ небольшимъ пароходомъ, построеннымъ изъ алюминія. Пароходъ этотъ, кажется первый въ своемъ родѣ, вѣсилъ всего полъ-тонны и былъ построенъ на заводахъ Эшеръ Висса и К° въ Цюрихѣ. Алюминій былъ доставленъ извѣстными электролитическими заводами въ Шафгаузенѣ. Паровая лодка эта поднимаетъ 8 человѣкъ, снабжена керосиновымъ двигателемъ въ 2 лош. силы и дѣлаетъ до 6 миль въ часъ. Алюминій, какъ извѣстно, не ржавѣетъ, поэтому лодка всегда сохраняетъ красивый матово-бѣлый цвѣтъ; труба изъ полированнаго алюминія блеститъ какъ серебро.

Цѣна электрической энергіи.—Инженеръ Гауптманъ прочелъ недавно въ Société des Ingénieurs civils въ Парижѣ докладъ о стоимости электрической энергіи, изъ котораго приводимъ слѣдующія любопытныя данныя. Въ Парижѣ электрическая энергія продается въ среднемъ по 0,12 за гектоваттъ, или 0,90 фр. за лошадь-часъ; эта цѣна почти въ три раза больше, чѣмъ стоимость лошадиной силы, производимой газовымъ двигателемъ. Гавръ, одинъ изъ наиболѣе дешевыхъ въ этомъ отношеніи городовъ Франціи, беретъ съ потребителей за гектоваттъ 0,1 фр. Съ 1 іюля 1891 года устроена въ городѣ Санъ-Бріё станція, взимающая за каждые 100 ваттъ 0,07 фр. Въ Лондонѣ лошадь-часъ стоитъ 0,37 фр., все таки еще значительно дороже газа. Дешевле всего электрическая энергія въ Фрейбургѣ. Тамъ утилизируютъ для добыванія ея водопады, расположенные вблизи города; турбины ... соединены съ динамомашинами. Токъ отъ этихъ машинъ продается по 0,10 фр. за лошадь-часъ при потребленіи болѣе 20 силъ, по 0,12 фр. за потребленіе отъ 5—... силъ, и по 0,15 фр. при меньшемъ потребленіи. По Гауптману, причина этихъ большихъ разностей въ цѣнѣ электрической энергіи лежитъ не столько въ разности стоимости первоначальной энергіи (угля и т. д.), сколько въ системахъ распредѣленія. Если районъ раздѣленъ на секторы, имѣющіе свои маленькія станціи внутри секторовъ, то энергія обойдется значительно дешевле, чѣмъ ... отдаленной отъ потребителей большой центральной станціи.

Гуттаперча и изолировка кабелей.—Гравинкель, извѣстный нѣмецкій электрикъ, прочелъ недавно въ электротехническомъ обществѣ въ Берлинѣ любопытный докладъ о подземныхъ кабеляхъ въ Германіи. Сравнивая испытанія кабелей, сдѣланныя въ прошедшемъ году, съ такими же, произведенными въ предыдущіе годы, авторъ нашелъ, что изолировка старыхъ кабелей лучше таковой у новыхъ. Это зависитъ отъ употребленія теперь низшаго достоинства гуттаперчи для изолировки, явившагося послѣдствіемъ громаднаго спроса на нее и одновременнаго уменьшенія ея производства. Дѣйствительно въ послѣдніе 4 года гуттаперча почти удвоилась въ цѣнѣ. Съ другой стороны Лагардъ, изслѣдовавшій различные сорты гуттаперчи, пришелъ къ заключенію, что чѣмъ выше ея достоинство, тѣмъ хуже она изолируетъ. Это противорѣчіе объясняется тѣмъ, что хотя гуттаперча низшаго достоинства и представляетъ вначалѣ большую изоляцію, но вскорѣ ее теряетъ, между тѣмъ какъ высшіе сорты ея весьма долго и постоянно сохраняютъ свои драгоцѣнныя свойства.

Геройскій поступокъ. — Въ Зибревилѣ (Штатъ Нью-Іоркъ) служащій на телефонной станціи проводчикъ Мартинъ геройскимъ поступкомъ спасъ жизнь и имущество жителей части своего роднаго города. В началѣ іюня сильный пожаръ вспыхнулъ въ Зибревилѣ; въ числѣ первыхъ зданій погибла телеграфная и телефонная станція. Мартинъ, рискуя собственной жизнью, взлѣзъ на горящій телефонный столбъ, разрѣзалъ проволоку, включилъ свой переносный приборъ въ цѣпь и вызвалъ изъ двухъ сосѣднихъ городковъ пожарную команду, которая, прибывъ на экстренномъ поѣздѣ, спасла часть города отъ гибели.

Отвѣтственный и спеціальный редакторъ А. Смирновъ.